



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR

ESTIMASI KERUGIAN ENERGI JARINGAN DISTRIBUSI RADIAL PADA PENYULANG NR 7 20 KV KOTA MEDAN MENGUNAKAN LOSS FACTOR

Saifi Sabiq
NRP 2213100070

Dosen Pembimbing

Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc. Ph.D.
Rony Seto Wibowo, ST , MT, Dr. Eng

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

- Halaman ini sengaja dikosongkan -



FINAL PROJECT - TE 141599

**ENERGY LOSS ESTIMATION OF RADIAL
DISTRIBUTION NETWORK IN 20 KV NR7 FEEDER
MEDAN CITY USING LOSS FACTOR**

Saifi Sabiq
NRP 2213100070

Counsellor Lecturer
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc. Ph.D.
Rony Seto Wibowo, ST , MT, Dr. Eng

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty Of Electrical Technology
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2017

- Halaman ini sengaja dikosongkan -

**ESTIMASI KERUGIAN ENERGI JARINGAN DISTRIBUSI
RADIAL PADA PENYULANG NR 7 20 KV KOTA MEDAN
MENGUNAKAN *LOSS FACTOR***

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Prof. Ir. Ontoseno Penansang M.Sc. Ph.D
NIP. 194907151974121001

Dosen Pembimbing II



Rony Seto Wibowo, ST, MT, Dr. Eng
NIP. 197411292000121001



- Halaman ini sengaja dikosongkan -

ABSTRAK

Salah satu indikator untuk mengetahui efisiensi pola operasi sistem kelistrikan pada jaringan distribusi adalah perhitungan kerugian energi yang terjadi pada jaringan distribusi tersebut. Pihak penyedia listrik tentunya memerlukan perhitungan kerugian energi ini sebagai pertimbangan pembuatan kebijakan harga listrik maupun aturan yang harus di ikuti oleh pihak pelanggan listrik. Para pelanggan dapat dikenakan biaya yang berbeda sesuai porsi kerugian yang di akibatkan dari pemasokan listrik terhadap masing-masing pelanggan.

Perhitungan kerugian energi ini membutuhkan data pengukuran lapangan yang banyak dan teliti yang pada kenyataannya sulit diperoleh. Selain hal tersebut, metode perhitungan yang cepat dan akurat dengan hasil yang maksimal dan waktu perhitungan yang minimal juga merupakan kebutuhan. Maka dari itu dalam Tugas Akhir ini akan membahas metode estimasi kerugian energi dengan data pengukuran yang minimal serta proses perhitungan yang cepat. Tugas Akhir ini juga akan menguji metode *loss factor* yang sesuai dengan karakteristik beban di Indonesia sehingga dapat digunakan untuk melakukan proses estimasi kerugian energi dengan tepat dan cepat bahkan dapat digunakan untuk perencanaan sistem.

Kata Kunci : karakteristik beban, estimasi pembebanan trafo, load factor, loss factor, kerugian energi.

- Halaman ini sengaja dikosongkan -

ABSTRACT

One of the indicators to know the efficiency of operation pattern of electrical system in distribution network is the calculation of energy losses that occur in the distribution network. The electricity providers certainly require the calculation of this energy loss as a consideration for making electricity price policy and rules that must be followed by the electricity customer. Customers may be charged differently according to losses resulting from the supply of electricity to each customer.

This energy losses calculation needs extensive and rigorous field measurement data that are in fact difficult to obtain. In addition, a fast and accurate calculation method with maximum results and minimum calculation time is also a requirement. Therefore, in this final project will discuss energy loss estimation method with minimum measurement data and fast calculation process. This final project will also test which one loss factor in accordance with load characteristic in Indonesia so that it can be used to perform process of estimating energy losses properly and quickly even in planning phase of the system.

Keywords: Load characteristic, estimation loading of transformer, load factor , loss factor , energy losses.

- Halaman ini sengaja dikosongkan -

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya yang begitu besar, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dan laporan yang berjudul :

ESTIMASI KERUGIAN ENERGI JARINGAN DISTRIBUSI RADIAL PADA PENYULANG NR 7 20 KV KOTA MEDAN MENGGUNAKAN *LOSS FACTOR*

Penulis memahami setiap karya pasti memiliki kekurangan sehingga penulis memiliki harapan besar atas masukan dan saran kepada Tugas Akhir ini agar menjadi sempurna. Semoga laporan Tugas Akhir ini bisa memberikan manfaat bagi para pembaca, perusahaan, mahasiswa dan semua orang pada umumnya untuk pengembangan ilmu pengetahuan yang lebih baik lagi, khususnya di bidang elektro

Harapan penulis, semoga hasil karya ini dapat memberikan pandangan yang luas bagi seluruh bangsa.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

- Halaman ini sengaja dikosongkan -

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL

LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
1.7 Relevansi	4
BAB II SISTEM DISTRIBUSI RADIAL	5
2.1 Sistem Penyaluran Tenaga Listrik	5
2.2 Jaringan Distribusi Radial	6
2.3 Klasifikasi Beban	8
2.3.1 Klasifikasi jenis Beban	8
2.3.2 Karakteristik Beban	9
2.4 Analisa Aliran Daya Jaringan Distribusi Radial	11
2.4.1 Metode ZBr	11
2.4.2 Metode K-Matrik	13
2.5 Kurva Beban Harian Trafo Distribusi	15
2.6 Kurva Total Beban Harian	17

2.7 Kerugian Daya Pada Transformator.....	17
BAB III ESTIMASI KERUGIAN ENERGI DAN LOSS FACTOR	19
3.1 Konsep Dasar	19
3.2 Sistem Distribusi Penyulang NR7 84 Bus.....	21
3.3 Data Penelitian	23
3.4 <i>Losses, Load Factor</i> , dan <i>Loss Factor</i>	33
3.4.1 Kerugian Teknis	33
3.4.2 <i>Loss Factor</i>	33
3.4.3 <i>Load Factor</i>	35
3.4.4 Batasan Hubungan <i>Loss Factor</i> dan <i>Load Factor</i>	35
3.5 Beberapa Metode Pendekatan <i>Loss Factor</i>	37
3.6 Pemilihan Formula <i>Loss Factor</i>	38
3.7 Estimasi Kerugian Energi.....	39
BAB IV SIMULASI DAN ANALISIS	41
4.1 Estimasi Pembebanan Trafo Distribusi	41
4.2 Analisa Kerugian Pada Trafo Distribusi	42
4.3 Hasil Analisis Total Pembebanan Penyulang NR 7 84 Bus Kota Medan	45
4.4 Hasil Analisis Aliran Energi Pada Penyulang NR 7 84 Bus	47
4.5 Perhitungan Nilai <i>Load Factor</i> dan <i>Loss Factor</i> Sistem.....	49
4.5.1 <i>Load Factor</i>	49
4.5.2 <i>Loss Factor</i>	49
4.6 Estimasi Kerugian Energi dengan <i>Loss Factor</i>	50
4.7 Total Kerugian Energi Selama Satu Tahun	51
4.8 Hasil Validasi Metode Analisa Aliran Daya.....	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1 Kesimpulan.....	61
5.2 Saran	61

DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN A	65
LAMPIRAN B	87
RIWAYAT HIDUP	91

- Halaman ini sengaja dikosongkan -

TABLE OF CONTENTS

TITLE PAGE	
VALIDATION SHEET	
APPORVAL SHEET	
ABSTRACT(IND)	i
ABSTRACT(ENG)	iii
PREFACE	v
TABLE OF CONTENTS(IND)	vii
TABLE OF CONTENTS(ENG)	xi
LIST OF FIGURES	xv
LIST OF TABLES	xvii
BAB I INTRDUCTION	1
1.1 Background	1
1.2 Problems.....	2
1.3 Objective.....	2
1.4 Scope	2
1.5 Methodology	3
1.6 Systematic of Writing	3
1.7 Relevance.....	4
BAB II RADIAL DISTRIBUTION SYSTEM.....	5
2.1 Power Distribution System.....	5
2.2 Radial Distribution System	6
2.3 Load Classification.....	8
2.3.1 Load Type Classification	8
2.3.2 Load Characteristics	9
2.4 Power Flow Analysis of Radial Distribution System	11
2.4.1 ZBr Method	11

2.4.2 K-Matrik Method.....	13
2.5 Daily Load Curve of Distribution Transformer.....	15
2.6 Sum of Daily Load Curve	17
2.7 Transformator Losses	17
BAB III ENERGY LOSS ESTIMATION AND LOSS FACTOR.....	19
3.1 Basic Concepts	19
3.2 Distribution System of NR7 Feeder	21
3.3 Research Data	23
3.4 Losses, Load Factor , and Loss Factor	33
3.4.1 Technical Losses.....	33
3.4.2 Loss Factor	33
3.4.3 Load Factor.....	35
3.4.4 Boudary Between Loss Factor dan Load Factor	35
3.5 Several Loss Factor Method	37
3.6 Severel Formula Loss Factor.....	38
3.7 Energy Loss Estimation	39
BAB IV SIMULATION AND ANALYSIS.....	41
4.1 Estimation Load of Distribution Transformer	41
4.2 Loss Analysis on Distribution Transformer	42
4.3 Analysis Result of Load NR7 Feeder	45
4.4 Energy Flow Analysis on NR7 Feeder	47
4.5 Calculation of Load Factor and Loss Factor System.....	49
4.5.1 Load Factor.....	49
4.5.2 Loss Factor	49
4.6 Energy Loss Estimstion using Loss Factor	50
4.7 Annual Energy Loss	51
4.8 Validation of Load Flow Method	52

BAB V CLOSSING	61
5.1 Summary	61
5.2 Suggestion.....	61
REFERENCES.....	63
APPENDIX A	65
APPENDIX B	87
BIOGRAPHY	91

- Halaman ini sengaja dikosongkan -

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Penyaluran Daya Listrik	5
Gambar 2.2 Skema saluran sistem radial	7
Gambar 2.3 Penggunaan saluran alternatif dengan saklar pindah	7
Gambar 2.4 Kurva beban harian pada berbagai jenis beban	9
Gambar 2.5 Karakteristik beban harian untuk residensial, komersial dan industri	10
Gambar 2.6 Single line diagram contoh analisis menggunakan metode network topology	12
Gambar 3.1 Diagram alir proses estimasi kerugian energi dengan loss factor	19
Gambar 3.2 Singe Line Diagram Penyulang NR7	22
Gambar 3.3 Kurva karakteristik beban residensial	23
Gambar 3.4 Kurva karakteristik beban komersial	24
Gambar 3.5 Kurva karakteristik beban publik	24
Gambar 3.6 Kurva karakteristik beban industrial	25
Gambar 3.7 Single Line Diagram yang menunjukkan hubungan antar Loss Factor dan Daya yang di transmisikan	34
Gambar 3.8 Kurva pembebanan teoritis untuk memperlihatkan batas hubungan antar <i>loss factor</i> dan <i>load factor</i>	36
Gambar 3.9 Batasan hubungan antara <i>load factor</i> dan <i>loss factor</i> dengan area yang memungkinkan menunjukkan hubungan keduanya	37
Gambar 4.1 Kurva Karakteristik Pembebanan Penyulang NR7 84 bus	47

- Halaman ini sengaja dikosongkan -

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Nilai Pembebanan Tiap Jenis Beban <i>Weekday</i>	25
Tabel 3.2 Data Jenis Beban Setiap Trafo	26
Tabel 3.3 Data Pengukuran Tiap Gardu Distribusi	29
Tabel 3.4 <i>Datasheet</i> Kerugian pada Trafo Distribusi 3 Fasa PLN	32
Tabel 3.5 Beberapa Rumus Pendekatan <i>Loss Factor</i>	39
Tabel 4.1 Hasil Esimasi Pembebanan Trafo PB368 (200kVA)	41
Tabel 4.2 Hasil Analisis Kerugian Trafo PB258 (160kVA)	43
Tabel 4.3 Hasil Analisis Kerugian Energi Pada 64 Trafo Penyulang ...	44
Tabel 4.4 Hasil Identifikasi Pembebanan Penyulang NR7.....	45
Tabel 4.5 Analisis Kerugian Energi JTM Penyulang NR7 84 bus	47
Tabel 4.6 Analisis Total Aliran Energi Per Hari Pada Penyulang NR7	49
Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Loss Factor	49
Tabel 4.8 Hasil Estimasi Kerugian Energi Per Hari JTM NR7 Menggunakan Loss Factor	50
Tabel 4.9 Estimasi Kerugian Energi dengan Analisis Aliran Energi	51
Tabel 4.10 Estimasi Kerugian Energi dengan Loss Factor	51
Tabel 4.11 Hasil Validasi Tegangan Metode Analisa Aliran Daya K- Matrik dan ZBr dengan Software ETAP	52
Tabel 4.12 Tabel Hasil Validasi Arus dan Losses Metode K-Matrik dan ZBr dengan Software ETAP	57

- Halaman ini sengaja dikosongkan -

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Jaringan distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang menyumbang kerugian energi terbesar. Kerugian energi yang besar ini dikarenakan penurunan level tegangan yang menyebabkan arus yang lebih besar mengalir pada jaringan sehingga kerugian daya dalam hitungan waktu juga semakin besar. Salah satu indikator untuk mengetahui efisiensi pola operasi sistem kelistrikan pada jaringan distribusi adalah dengan melakukan perhitungan kerugian energi yang terjadi pada jaringan distribusi tersebut[1]. Pihak penyedia listrik tentunya memerlukan perhitungan kerugian energi ini sebagai pertimbangan pembuatan kebijakan harga listrik maupun aturan yang harus di ikuti oleh pihak pelanggan listrik[3]. Kerugian energi adalah bentuk dari kerugian biaya karena tarif biaya yang dikeluarkan oleh pelanggan selalu dikaitkan dengan energi yang telah mereka pakai bukan besarnya daya listrik (VA) yang mereka ajukan [4]. Para pelanggan dapat dikenakan biaya yang berbeda sesuai porsi kerugian yang di akibatkan dari pemasokan listrik terhadap masing-masing pelanggan.

Estimasi kerugian energi yang akurat tentunya memerlukan data yang banyak dan teliti . Data tersebut pada umumnya sulit diperoleh seperti data saluran, datasheet trafo pada tiap gardu, dan data pembebanan pada gardu distribusi . PT.PLN umumnya memiliki data pembebanan pada saluran outgoing yang keluar dari gardu induk setiap 15 menit dengan pengukuran jarak jauh (SCADA)[5]. Data tersebut dihimpun selama 24 jam yang disebut sebagai kurva beban harian penyulang. Namun kurva beban harian adalah total pembebanan pada tiap gardu distribusi (trafo distribusi) , sedangkan trafo distribusi mensuplai jenis-jenis beban yang memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Maka perlu di lakukan suatu pendekatan dengan identifikasi karakteristik jenis beban untuk estimasi pembebanan yang menghasilkan kurva beban harian gardu distribusi sesuai karakteristik beban yang di suplai.

Setelah di peroleh kurva beban harian pada tiap gardu distribusi untuk menghitung kerugian energi jaringan tentunya membutuhkan bantuan metode analisis aliran daya yang sesuai dengan jaringan distribusi radial. Metode yang diharapkan adalah metode yang memiliki ketelitian yang tinggi dan proses iterasi yang minimal. Kecepatan proses

perhitungan yang merupakan beban efisiensi waktu sangat dibutuhkan karena jumlah seluruh jaringan distribusi sangat banyak dan kompleks. Oleh sebab itu dipilih metode Zbr yang dapat menganalisis aliran daya pada jaringan distribusi radial dengan cepat dan tepat.

Dalam Tugas Akhir ini akan mengimplementasikan perhitungan energi dengan menggunakan *loss factor* sehingga proses perhitungan menjadi lebih singkat. Namun *loss factor* yang telah dikembangkan dan terpublikasi dalam jurnal internasional memiliki formula yang berbeda-beda. Oleh sebab itu formula-formula tersebut akan di uji dan di verifikasi pada jaringan dan karakteristik beban saat ini.

1.2 PERMASALAHAN

Adapun rumusan masalah dalam proposal Tugas Akhir ini adalah:

1. Perlunya metode pendekatan yang minimal sebagai solusi data pengukuran lapangan yang sulit di peroleh.
2. Di butuhkan metode analisa aliran daya yang memiliki iterasi minimal dan akurat untuk jaringan distribusi radial
3. Perlunya metode estimasi kerugian energi yang cepat dan akurat untuk jaringan distribusi radial.

1.3 TUJUAN

Tugas Akhir ini memiliki beberapa tujuan sebagai berikut :

1. Mendapatkan metode estimasi kerugian energi yang memerlukan data pengukuran yang minimal namun memiliki hasil yang maksimal.
2. Mendapatkan formula *loss factor* yang sesuai dengan jaringan distribusi radial dan karakteristik beban saat ini.
3. Menghasilkan aplikasi pengestimasi kerugian energi menggunakan *loss factor* dengan software MatLab.

1.4 BATASAN MASALAH

Agar Tugas Akhir ini tidak menyimpang dari ketentuan yang digariskan maka diambil batasan dan asumsi sebagai berikut:

1. Sistem yang dianalisa adalah jaringan distribusi radial 20kV.
2. Pemodelan beban menggunakan kurva karakteristik beban kota Medan saat *weekday* sebagai referensi.
3. Beban dikategorikan menjadi empat kelompok, yaitu residensial, publik, komersial/bisnis, industri, mix.

4. Simulai menggunakan analisa aliran daya 3 fasa setimbang metode Zbr.

1.5 METODOLOGI

Metodologi yang digunakan dalam Tugas Akhir ini antara lain :

1. Pengumpulan pustaka dan studi pustaka
Melakukan pengumpulan dan kajian pustaka dari buku-buku dan *paper* yang berkaitan dengan jaringan distribusi radial, analisa aliran daya, karakteristik beban harian, kerugian energi, dan metode estimasi kerugian energi, dan pemrograman komputer.
2. Pengumpulan data
Data yang dibutuhkan adalah kurva beban harian sebagai referensi, datasheet trafo, data saluran, data pelanggan, data pengukuran dan jam pengukuran pada tiap titik beban.
3. Analisis eksperimen
Melakukan analisa terhadap hasil estimasi kerugian energi menggunakan *loss factor* dan hasil perhitungan kerugian energi dengan *energy flow*, serta menganalisa keakuratan formula *loss factor* yang sesuai dengan karakteristik beban saat ini.
4. Perancangan simulasi
Membuat software pengestimasi kerugian energi menggunakan *loss factor*. Masukan dari program software ini adalah daya pengukuran, jam pengukuran, komposisi beban, dan data saluran.
5. Pembuatan Laporan Tugas Akhir
Melakukan penulisan laporan yang menunjukkan hasil akhir dari Tugas Akhir.

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Penulisan laporan Tugas Akhir ini tersistematika menjadi lima bab sebagai berikut :

1. BAB I adalah pendahuluan yang berisi latar belakang, permasalahan, tujuan, metodologi, batasan masalah, sistematika penulisan, dan relevansi.
2. BAB II membahas tentang teori penunjang tentang jaringan distribusi radial, kurva karakteristik beban, pemodelan beban, analisa aliran daya dengan metode K-Matrik dan Zbr.

3. BAB III berisi tentang sistem distribusi 20 kV di Kota Medan, toeri tentang *load factor* dan berbagai macam formula *loss factor* yang telah dikembangkan.
4. BAB IV berisi tentang hasil simulasi diantaranya adalah hasil verifikasi aliran daya dengan ETAP dan hasil estimasi kerugian energi dengan *loss factor*.
5. BAB V berisi tentang kesimpulan dan saran tentang hasil estimasi menggunakan formula *loss factor* yang sesuai dengan karakteristik beban saat ini.

1.7 RELEVANSI

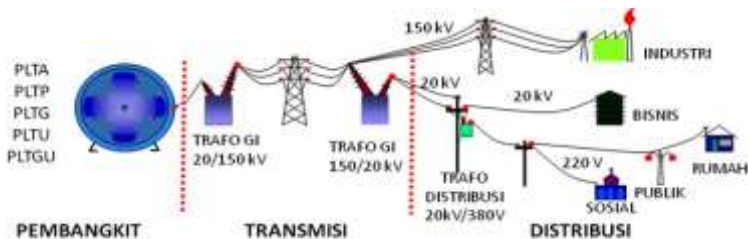
1. Bagi perusahaan listrik
Tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi perusahaan listrik dalam mengestimasi kerugian energi pada jaringan distribusi radial dengan cepat dan tepat dengan data pengukuran yang minimal.
2. Bagi bidang ilmu pengetahuan / mahasiswa lain
Tugas Akhir ini dapat dilanjutkan dengan meneliti formula *loss factor* pada beban tiga fasa tak seimbang yang sesuai dengan realita dan karakteristik beban . Serta memperhitungkan kondisi *weekday* dan *weekend*.

BAB II

SISTEM DISTRIBUSI RADIAL

2.1 SISTEM PENYALURAN TENAGA LISTRIK[9]

Energi listrik dihasilkan oleh pembangkit listrik dari berbagai jenis, seperti pembangkit listrik tenaga air (PLTA), pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD) dan lain sebagainya. *Gambar 2.1* memperlihatkan proses penyaluran energi listrik mulai dari pembangkit, transmisi dan distribusi. Pada area pembangkit umumnya memiliki level tegangan berkisar di 20 kV, kemudian untuk mengurangi kerugian daya akibat arus pada saluran yang berbanding lurus dengan kuadrat arus maka tegangan di naikan sehingga arus menjadi lebih kecil. Selanjutnya Gardu Induk *step-down* menerima energi listrik dari saluran transmisi dan menurunkan level tegangan agar bisa di konsumsi oleh pelanggan listrik sesuai permintaan.



Gambar 2.1 Penyaluran Daya Listrik

Beberapa komponen penting dalam panyaluran daya listrik adalah sebagai berikut :

1. Gardu Induk (GI)

Gardu Induk merupakan komponen vital dalam sistem tenaga listrik untuk mengatur daya listrik, mentransformasikan tegangan sehingga dapat di konsumsi oleh para pelanggan listrik dan sebagai interkoneksi dalam sistem tenaga listrik pada suatu daerah.

2. Gardu Hubung (GH)

Gardu Hubung merupakan gardu induk bertegangan menengah yang menyalurkan energi listrik tanpa merubah tegangan . Gardu ini meneruskan jaringan distribusi primer menuju ke transformator distribusi. Pada gardu hubung terdapat berbagai peralatan hubung serta alat kontrol lainnya , namun tidak

terdapat trafo daya. Peralatan hubung tersebut adalah sakelar beban yang selalu dalam kondisi terbuka (*normally open*) , sakelar ini berkerja jika penyulang utama mengalami gangguan.

3. Gardu Distribusi (GD)

Gardu Distribusi merupakan trafo distribusi yang mensuplai beban dengan tegangan sesuai permintaan pelanggan. Gardu distribusi juga dilengkapi dengan pemutus daya sehingga ketika terjadi gangguan pada sisi konsumen tidak mengganggu kontinuitas penyuplaian listrik di tempat lain.

Sistem distribusi tentunya tidak hanya disuplai oleh satu gardu induk melainkan ditunjang oleh gardu induk yang lain dengan berbagai macam konfigurasi. Hal tersebut memiliki tujuan utama yaitu menjaga kontinuitas suplai daya dan menjaga keandalan sistem distribusi.

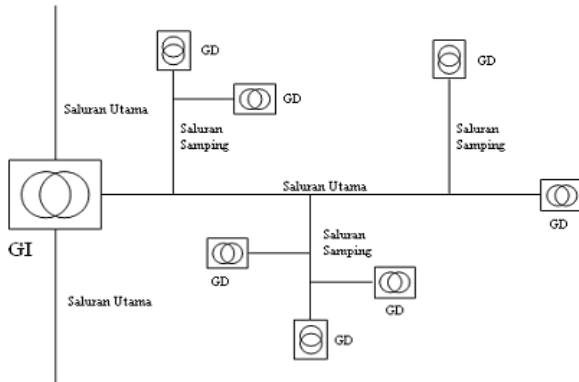
Berikut beberapa sistem jaringan distribusi yang umum dipergunakan untuk menyalurkan daya listrik :

1. Sistem jaringan distribusi radial
2. Sistem jaringan distribusi rangkaian tertutup (*loop*)
3. Sistem jaringan distribusi spindle
4. Sistem jaringan distribusi mesh

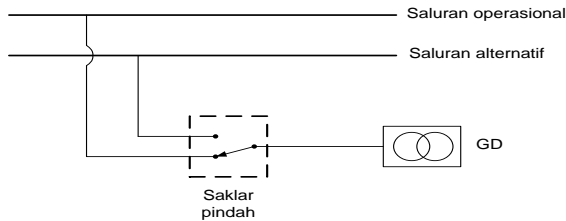
2.2 JARINGAN DISTRIBUSI RADIAL

Jaringan distribusi radial merupakan jaringan yang paling sederhana dan banyak digunakan di Indonesia. Jaringan distribusi ini menghubungkan Gardu Induk dengan konsumen tenaga listrik secara radial, sehingga jaringan ini dinamakan jaringan distribusi radial. Jaringan ini tersusun atas suatu saluran utama (*Trunk Line*) dan saluran percabangan (*Lateral Line*) sebagaimana terlihat pada *Gambar 2.2*. Saluran percabangan biasanya dihubungkan pada penyulang utama dengan pengaman pemutus daya sekering. Pemutus daya ini berfungsi untuk memutuskan daya listrik ketika terjadi gangguan pada sisi konsumen. Dengan demikian kontinuitas suplai pada konsumen lain tidak terganggu. Namun bila pemutus daya tersebut gagal bekerja maka pemutus daya pada gardu induk akan berkerja dan menyebabkan seluruh konsumen pada penyulang tersebut terputus dari suplai listrik. Oleh karena itu suplai energi listrik khusus untuk beban vital, seperti kantor pemerintahan, rumah sakit, pangkalan pertahanan, dan lain sebagainya harus mendapat suplai secara realteam atau tidak boleh terputus dalam jangka waktu yang lama. Solusi yang diterapkan untuk mengatasi hal tersebut adalah penggunaan saluran alternatif cadangan atau penyulang

khusus untuk memasok daya pada beban vital dengan saklar yang bekerja secara otomatis , seperti pada *Gambar 2.3*. [10]



Gambar 2.2 Skema saluran sistem radial



Gambar 2.3 Penggunaan saluran alternatif dengan saklar pindah

Di Indonesia jaringan distribusi menganut sistem tegangan menengah yaitu 20kV pada penyulang . Sedangkan pada setiap titik beban di pasang transformator untuk merununkan tegangan menjadi 380V yang ditujukan untuk konsumen tegangan rendah. Transformator memiliki kapasitas yang berbeda-beda sesuai jenis beban yang di suplai. Dengan sistem radial sepeti ini, saluran akan memuat arus yang semakin besar seiring bertambahnya jarak dari sumber daya. Oleh sebab itu penampang saluran akan semakin besar pula dengan bertambahnya jarak.

Jaringan distribusi tentunya menyumbang kerugian energi terbesar dalam sistem tenaga listrik dengan penurunan tegangan yang menjadikan arus pada saluran semakin besar. Kerugian energi berbanding lurus dengan kenaikan kuadrat arus dalam hitungan waktu. Maka dari itu

perlu dipertimbangkan angka kerugian energi ini agar pola operasi dapat ditingkatkan guna menekan kerugian energi yang ada.

2.3 KLASIFIKASI BEBAN

2.2.1 Klasifikasi jenis Beban

Pihak penyedia listrik mensuplai energi listrik kepada konsumen yang memiliki beragam penggunaan , misalnya industri, rumah sakit , perumahan dan lain sebagainya. Oleh sebab itu beban-beban tersebut memiliki karakteristik pola operasi yang berbeda-beda.

Setiap pengelompokan beban tentunya memiliki hal yang harus mendasarinya agar tidak membingungkan. Pengelompokan beban tersebut tentunya juga memiliki tujuan tersendiri sesuai kebutuhan pihak penyedia listrik. Setiap wilayah mengelompokkan beban sesuai kebutuhan mereka masing-masing.

Tugas Akhir ini menggunakan sistem pengelompokan beban yang digunakan PT.PLN selaku pihak penyedia listrik di Indonesia. PT.PLN Persero mengelompokkan beban ke dalam 4 jenis diantaranya adalah :

1. Industrial

Beban industrial terdiri dari pemakai listrik yang memang khusus untuk menjalankan suatu usaha yang selalu membutuhkan energi listrik secara kontinyu tidak boleh terputus.

2. Residensial

Beban residensial terdiri atas pemakai listrik untuk kehidupan rumah tangga pada umumnya atau perumahan.

3. Komersial

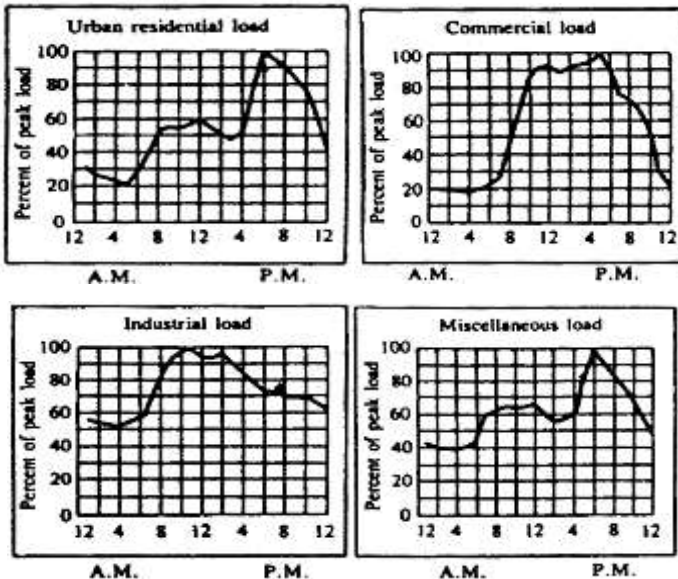
Beban komersial adalah pemakaian listrik yang di tujukan untuk penunjang usaha bukan untuk menjalankan usaha yaitu seperti perkantoran, hotel, tempat penginapan, mall, pasar , tempat hiburan dan lain sebagainya yang mana tidak selalu membutuhkan suplai tanpa henti.

4. Publik

Beban publik adalah pemakaian listrik untuk fasilitas-fasilitas umum seperti halnya stasiun kereta api, rumah sakit, bandara, kantor pemerintahan, penerangan jalan umum (PJU), sarana transportasi, markas militer dan lain sebagainya.

2.2.2 Karakteristik Beban

Pengukuran tiap jam selama 24 jam pada berbagai jenis beban akan mendapatkan bentuk kurva (*load curve*) yang berbeda-beda sesuai jenis beban. Masing-masing kurva beban memiliki bentuk yang khas seperti pada *Gambar 2.4*. Kurva tersebut menunjukkan variasi pembebanan selama 24 jam.

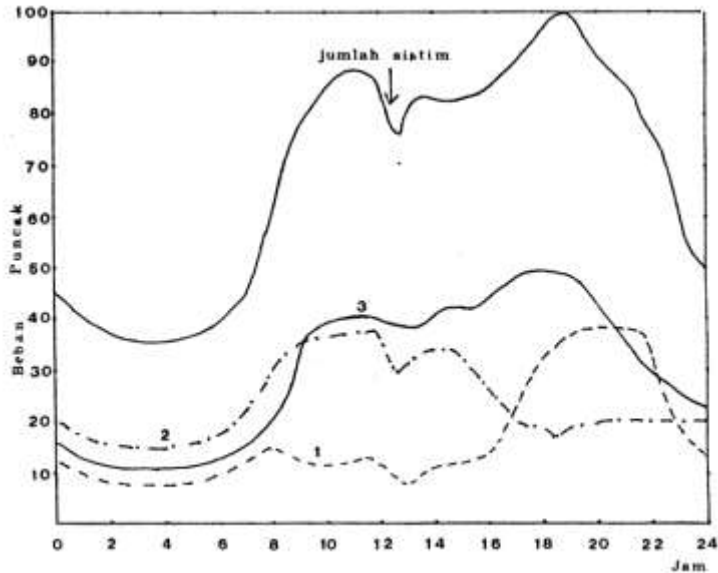


Gambar 2.4 Kurva beban harian pada berbagai jenis beban[6].

Selain kurva beban harian selama 24 jam, kurva bulanan ataupun tahunan juga dapat dibuat dengan berbagai maksud dan tujuan. Tujuan tersebut di antaranya adalah :

1. Penentuan berbagai macam karakteristik beban berdasarkan sifat pemakaiannya.
2. Ditujukan untuk menentukan pola operasi yang sesuai dengan fluktuasi beban.

Melalui analisis kurva beban dapat diketahui estimasi kerugian energi sehingga pihak penyedia listrik dapat menentukan menentukan berapa daya/energi (kW/kWh) yang harus dibangkitkan tiap bulan atau tiap tahun. Berikut contoh hasil plotting kurva harian dengan berbagai komposisi beban [8].



Gambar 2.5 Karakteristik beban harian untuk industrial, komersial, dan residensial.

Dari *Gambar 2.5* dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Beban perumahan yang ditunjukan pada grafik nomor 1 mengalami beban puncak pada jam 18.00 sampai jam 22.00 .
- Beban industrial yang di tujunjukan pada grafik kedua mengalami waktu puncak pada siang hari ketika jam kerja yaitu jam 08.00 sampai jam 16.00. Sedangkan industri yang beroperasi siang dan malam akan memiliki kurva yang seimbang antara siang dan malam.
- Beban komersial pada grafik nomor 3 mulai naik jam 09.00 dan memuncak diantara jam 17.00 sampai jam 19.00.
- Dalam range satu hari sistem tersebut secara umum memiliki waktu beban puncak di dua waktu. Waktu pertama adalah sekitar pukul 10.00 – 12.00 dan waktu kedua adalah sekitar pukul 18.30 – 21.00 .

Permintaan makimum energi listrik tentunya memiliki berbagai faktor yang melatarbelakanginya . Berikut adalah beberapa faktor yang dapat mempengaruhi perubahan permintaan energi listrik :

1. Alam/cuaca

Cuaca dapat mempengaruhi perubahan permintaan energi listrik khususnya dalam hal pemanasan dan pendinginan ruangan. Pada musim panas tentunya banyak orang yang ingin menghilangkan panas dengan menyalakan pendingin ruangan secara terus-menerus. Ataupun sebaliknya di belahan dunia lain malah memanfaatkan pemanas untuk menghilangkan hawa dingin yang terjadi di daerah tersebut.

2. Acara/kegiatan tertentu

Pada saat berlangsungnya kegiatan besar seperti perayaan hari besar dan lainnya maka permintaan listrik demi terselenggaranya acara tersebut sehingga menyebabkan jam terjadinya beban puncak tidak menentu dan akan terjadi permintaan listrik yang sangat signifikan.

3. Kondisi perekonomian/bisnis

Kegiatan ekonomi pada suatu daerah akan sangat menentukan besar kecilnya permintaan energi listrik. Negara modern tentunya akan membutuhkan suplai listrik yang jauh lebih besar dibandingkan negara yang berkembang maupun tertinggal. Sehingga kurva karakteristik pembebanannya akan berbeda-beda

2.4 ANALISA ALIRAN DAYA JARINGAN DISTRIBUSI RADIAL

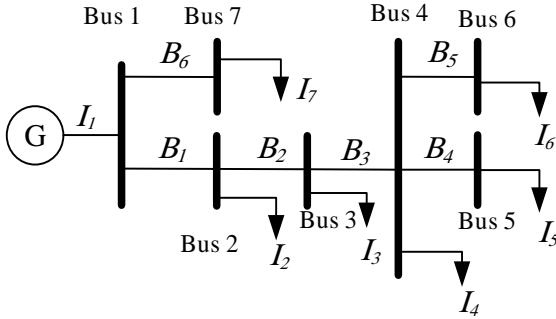
Metode *forward-backward* adalah metode untuk menghitung aliran daya telah dikembangkan guna menambah keakuratan, kemudahan dan kecepatan perhitungan analisis. Perhitungan tersebut melalui dua tahap perhitungan yaitu K-Matrik dan ZBr [2].

K-Matrik ini digunakan untuk menelusuri alur/path saluran distribusi yang nantinya digunakan untuk membentuk matrik impedansi. Sedangkan ZBr adalah metode untuk membentuk persamaan aliran daya melalui penyusunan impedansi saluran yang nantinya digunakan untuk menghitung drop tegangan. Dengan menggunakan K-Matrik dan ZBr tersebut analisa aliran daya dengan asumsi sistem tiga fasa seimbang dapat dilakukan.

2.4.1 Metode ZBr

Pada metode ZBr ini dilakukan penyusunan impedansi saluran distribusi radial kedalam suatu matrik untuk menghitung drop tegangan.

Sebelum membentuk matrik ZBr tersebut , perlu dilakukan pembentukan persamaan analisis aliran daya dengan metode *network topology* sebagai berikut :



Gambar 2.6 Single line diagram contoh analisis menggunakan metode *network topology*.

Jaringan distribusi radial di atas disuplai oleh satu sumber *infinite bus*. Dari *single line diagram* tersebut didapat persamaan injeksi arus ke bus sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 B_6 &= I_7 \\
 B_5 &= I_6 \\
 B_4 &= I_5 \\
 B_3 &= I_4 + I_5 + I_6 \\
 B_2 &= I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \\
 B_1 &= I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 + I_7
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

Persamaan diatas dapat di masukan kedalam matrik yang selanjutnya kita sebut matrik BIBC (*Bus Injection to Branch Current*) seperti berikut :

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \\ B_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \\ I_7 \end{bmatrix} \tag{2.2}$$

$$[B] = [BIBC][I] \tag{2.3}$$

Selain persamaan arus , kita memiliki persamaan tegangan tiap bus sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 V_2 &= V_1 - B_1 \cdot Z_{12} \\
 V_3 &= V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} \\
 V_4 &= V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} \\
 V_5 &= V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} - B_4 \cdot Z_{45} \\
 V_6 &= V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} - B_5 \cdot Z_{46} \\
 V_7 &= V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_6 \cdot Z_{17}
 \end{aligned} \tag{2.4}$$

Persamaan drop tegangan pun dapat dicari dari persamaan diatas sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 V_1 - V_2 &= B_1 \cdot Z_{12} \\
 V_1 - V_3 &= B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} \\
 V_1 - V_4 &= B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} \\
 V_1 - V_5 &= B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} - B_4 \cdot Z_{45} \\
 V_1 - V_6 &= B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} - B_5 \cdot Z_{46} \\
 V_1 - V_7 &= B_1 \cdot Z_{12} - B_6 \cdot Z_{17}
 \end{aligned} \tag{2.5}$$

Persamaan drop tegangan tersebut dapat di masukan ke dalam matrik BIBV (*Branch Current to Branch Voltage*) sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} V_1 - V_2 \\ V_1 - V_3 \\ V_1 - V_4 \\ V_1 - V_5 \\ V_1 - V_6 \\ V_1 - V_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & Z_{46} & 0 \\ Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & Z_{17} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \\ B_6 \end{bmatrix} \tag{2.6}$$

$$[\Delta V] = [BCBV][B] \tag{2.7}$$

Sehingga didapatkan persamaan akhir untuk menghitung drop tegangan adalah sebagai berikut :

$$[\Delta V] = [BCBV][BIBC][I] \tag{2.8}$$

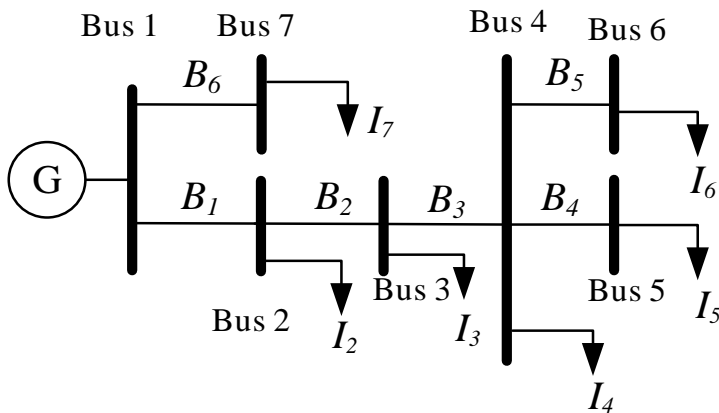
$$[\Delta V] = [DLF][I] \tag{2.9}$$

2.4.2 Metode K-Matrik

Metode K-Matrik adalah metode yang ditujukan untuk membentuk susunan impedansi saluran distribusi berdasarkan arah arus injeksi dari suatu bus ke bus lain. Aturan yang diterapkan dalam membentuk K-Matrik adalah sebagai berikut :

- $kij = 1$, jika cabang i berada pada jalur antara bus j dan bus referensi dan memiliki arah yang sama.
- $kij = -1$, jika cabang i berada pada jalur antara bus j dan bus referensi dan memiliki arah yang berlawanan.
- $kij = 0$, jika cabang i tidak berada pada jalur antara bus j dan bus referensi.

Contoh penelusuran jalur dengan single line diagram pada *Gambar 2.7*.



Gambar 2.7 Single line diagram contoh penelusuran jalur dengan metode K-Matrik.

K-Matrik untuk *single line diagram* di atas adalah sebagai berikut :

$$\begin{array}{c}
 \text{bus2} \quad \text{bus3} \quad \text{bus4} \quad \text{bus5} \quad \text{bus6} \quad \text{bus7} \\
 \begin{array}{l} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \\ B_6 \end{array}
 \left[\begin{array}{cccccc}
 -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\
 0 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 \\
 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1
 \end{array} \right]
 \end{array}$$

Apabila kita amati K-Matrik diatas memiliki bentuk dan komposisi yang nilainya berlawanan dengan setiap komponen matrik BIBC atau dapat dijelaskan dengan rumus berikut :

$$[BIBC] = - \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[BIBC] = -[KMatrik] \quad (2.10)$$

Sedangkan ketika matrik BIBC ditranspose maka akan memiliki komposisi yang mirip dengan matrik BCBV yang di kalikan dot dengan matrik impedansi *full branch*.

$$BIBC' = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 & 0 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{45} & Z_{17} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{46} & Z_{17} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{46} & Z_{17} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{46} & Z_{17} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{46} & Z_{17} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{46} & Z_{17} \end{bmatrix}$$

$$[BCBV] = -[KMatrik] \cdot [ZF_{BR}] \quad (2.11)$$

Dengan demikian dapat di simpulkan bahwa rumus untuk mencari drop tagangan dengan bantuan K-Matrik menjadi seperti berikut :

$$\begin{aligned} [\Delta V] &= [BCBV][BIBC][I] \\ [\Delta V] &= [-K]' \cdot [ZF_{BR}][-K] [I] \end{aligned} \quad (2.12)$$

2.5 KURVA BEBAN HARIAN TRAF0 DISTRIBUSI

Estimasi kurva beban harian trafo distribusi memerlukan data pengukuran, data pelanggan, database kurva beban harian tiap jenis beban. Data pengukuran berupa besar daya yang diukur beserta jam pengukurannya. Besar daya pengukuran akan digunakan untuk mencari prosentase pembebanan trafo saat dilakukan pengukuran. Selanjutnya data pelanggan adalah data yang berisi prosentase komposisi masing-masing jenis beban pada trafo tersebut. Sedangkan database kurva beban harian berisi kurva beban harian tiap jenis beban selama *weekday* dan

weekend selama 24 jam serta factor daya masing-masing jenis beban. Contoh estimasi pembebanan trafo distribusi dengan jenis beban publik menggunakan persamaan 2.13 [5] sebagai berikut :

$$Pn_{res} = \left(\frac{Pn_{ref_pub'}}{Pn_{ref_pub}} \right) \cdot (kVA_{rating} \cdot lf \cdot lc_{pub} \cdot pfn_{ref_pub}) \quad (2.13)$$

Dimana :

- Pn_{ref_pub}' = Daya referensi beban publik jam 1 – 24
- Pn_{ref_pub} = Daya referensi beban publik pada jam pengukuran
- pfn_{ref_pub} = Faktor daya referensi beban publik jam 1 – 24 (%)
- kVA_{rating} = Rating transformer
- lf = Prosentase pembebanan trafo (%)
- lc_{pub} = Komposisi pembebanan untuk beban publik (%)
- n = 1, 2, 3, ... , 24

Untuk estimasi jenis beban industrial, komersial dan residensial dapat menggunakan persamaan diatas namun dengan referensi daya, referensi faktor daya, dan komposisi beban sesuai jenis beban masing-masing.

Setelah masing-masing jenis beban telah dihitung dengan persamaan diatas maka tahap selanjutnya adalah mendapatkan nilai pembebanan trafo distribusi selama 24 jam . Seluruh trafo akan diestimasi seperti cara diatas sehingga didapatkan nilai pembebanan trafo selama 24 jam dengan menggunakan persamaan 2.14 [5] sebagai berikut :

$$Pn_{total_trafo_loadong} = Pn_{res} + Pn_{pub} + Pn_{com} + Pn_{ind} \quad (2.14)$$

dimana $n = 1, 2, 3, \dots, 24$

Apabila nilai pembebanan trafo selama 24 jam tersebut diplot maka akan didapatkan kurva beban harian trafo distribusi masing-masing trafo. Kurva beban harian tersebut memiliki bentuk yang khas sesuai jenis beban masing-masing trafo. Jika suatu trafo memiliki komposisi 100% beban industrial maka bentuk kurva akan mirip dengan database referensi kurva beban jenis industrial , tetapi dengan volume yang berbeda. Hal ini berbeda jika suatu trafo memiliki komposisi beban yang bermacam-macam , maka kurva beban harian trafo distribusi akan memiliki bentuk yang khas tidak seperti kurva beban apapun pada database referensi. Kurva tersebut terbentuk dari kontribusi masing-masing jenis beban

menjadi satu. Kurva beban harian trafo distribusi dengan jenis beban campuran akan mendekati kemiripan dengan kurva jenis beban yang paling dominan.

2.6 KURVA TOTAL BEBAN HARIAN

Kurva total beban harian bisa dicari setelah dilakukan estimasi nilai kurva beban harian semua trafo distribusi. Kurva total beban harian pada suatu penyulang adalah penjumlahan tiap interval waktu (jam ke 1 sampai ke 24) yang dirumuskan dalam persamaan 2.15 berikut :

$$Pn_{total_penyulang} = \frac{\sum_{m=1}^{jum_trafo} Pn_m}{1000} \text{ (MW)} \quad (2.15)$$

dimana $n = 1, 2, 3, \dots, 24$ dan $m =$ banyaknya trafo dalam penyulang tersebut.

Kurva total beban harian penyulang ini akan memiliki bentuk yang identik sama dengan kurva hasil pengukuran pada saluran *outgoing* penyulang di gardu induk. Perbedaan yang terjadi disebabkan kerugian yang terjadi pada saluran distribusi belum dimasukkan dalam analisis.

2.7 KERUGIAN DAYA PADA TRANSFORMATOR

Kerugian daya yang terjadi pada transformator dapat di klasifikasikan menjadi dua yaitu kerugian daya tidak beban (*No Load Losses*) dan kerugian daya ketika berbeban (*Load Losses*). Kerugian daya tidak berbeban pasti memiliki nilai yang selalu tetap, sedangkan nilai kerugian daya kondisi berbeban akan memiliki nilai yang berubah-ubah sesuai kondisi pembebanan trafo. Data yang kita dapat dari datasheet trafo adalah kVA, *No-Load Losses* dan *Rated Load Losses*. Sehingga nilai kerugian daya berbeban dapat dicari dengan persamaan 2.16 [11] berikut :

$$kW_{loss-trf-L} = \left[\frac{kVA_{load}}{kVA_{rated}} \right]^2 \times kW_{loss-R} \quad (2.16)$$

dimana : $kW_{loss-trf-L}$ = Kerugian berbeban trafo (kW)

kVA_{load} = Beban trafo (kVA)

kVA_{rated} = Kapasitas trafo (kVA)

kW_{loss-R} = Kerugian beban penuh trafo(kW)

Kemudian dapat di ketahui total kerugian yang terjadi pada trafo adalah sebagai berikut :

$$kW_{loss-trf-T} = kW_{loss-trf-L} + kW_{loss-trf-NL} \quad (2.17)$$

dimana : $kW_{loss-trf-T}$ = Total kerugian trafo (kW)

$kW_{loss-trf-L}$ = Total kerugian berbeban trafo (kW)

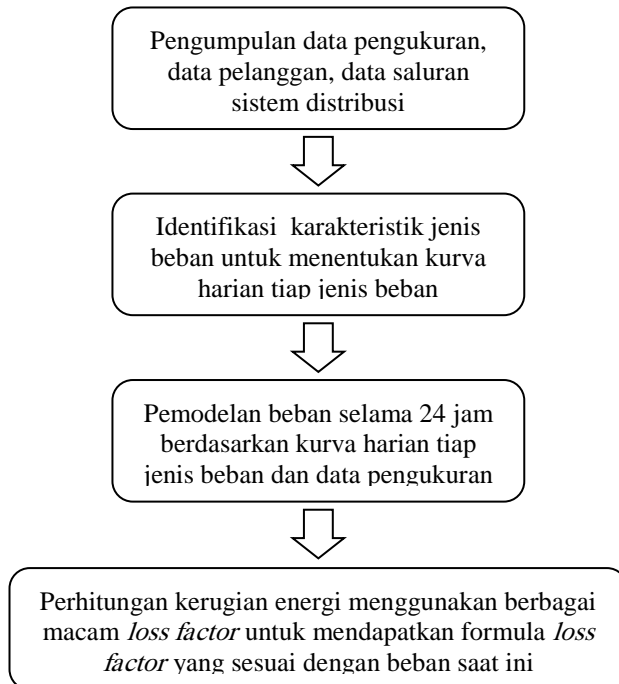
$kW_{loss-trf-NL}$ = Total kerugian tidak berbeban trafo (kW)

BAB III

ESTIMASI KERUGIAN ENERGI DAN LOSS FACTOR

3.1 KONSEP DASAR

Estimasi kerugian energi yang akurat tentunya memerlukan data yang banyak dan teliti . Data tersebut pada umumnya sulit diperoleh seperti data saluran, datasheet trafo pada tiap gardu, dan data pembebanan pada gardu distribusi . Sehingga pada tugas akhir ini akan dilakukan beberapa pendekatan untuk mengestimasi kerugian energi dengan langkah-langkah sebagai berikut :



Gambar 3.1 Diagram alir proses estimasi kerugian energi dengan loss factor

Pada langkah awal dilakukan sekali pengukuran pada tiap trafo distribusi lalu dicatat besar daya, data pelanggan dan jam pengukuran . Besar daya, data pelanggan dan waktu pengukuran akan digunakan untuk mengestimasi pembebanan trafo pada jam lain (24 jam) berdasarkan data referensi karakteristik masing-masing beban yang telah disurvei oleh PT. Hagler Bailly Indonesia. PT. Hagler Bailly Indonesia telah melakukan survei lapangan untuk PT. PLN Persero tentang karakteristik beban daerah-daerah di luar Jawa.

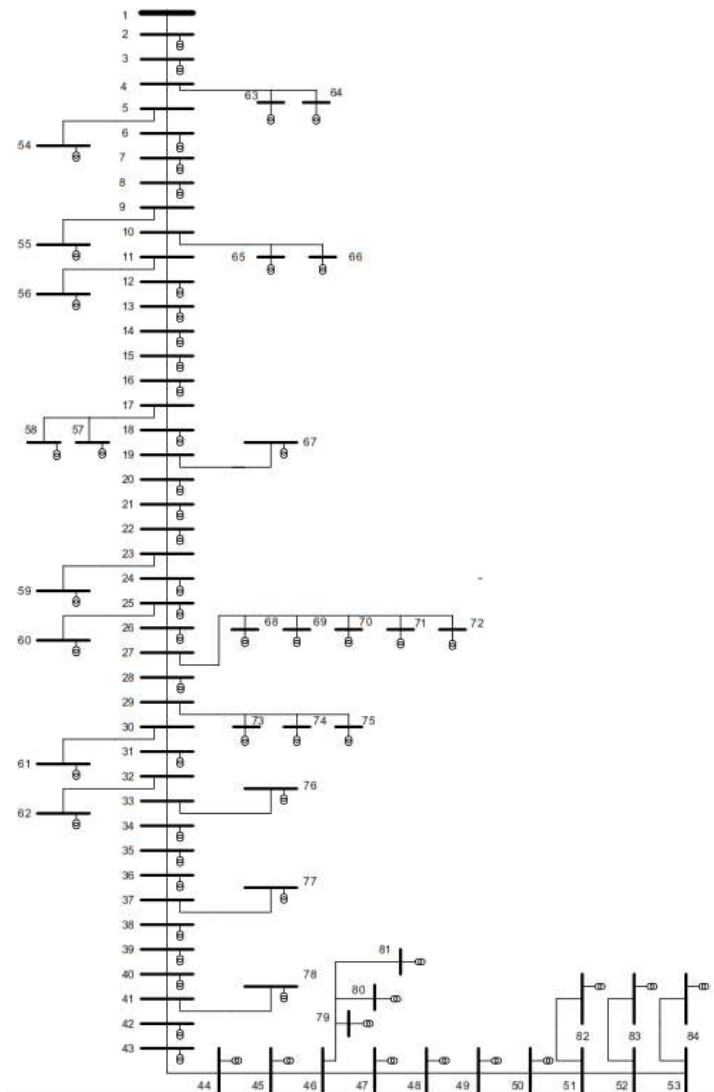
Setelah di dapatkan estimasi pembebanan tiap trafo distribusi sesuai masing-masing karakteristik beban selama 24 jam , tahap selanjutnya adalah mendapatkan kurva permintaan beban harian penyulang selama 24 jam yang terbentuk dari penjumlahan masing-masing pembebanan trafo distribusi pada setiap jam. Pada tahap ini perhitungan estimasi kerugian energi pada jaringan sudah dapat dilakukan tanpa mencari kurva beban harian penyulang, yaitu dengan menjadikan estimasi pembebanan trafo distribusi sebagai load pada jaringan 20 kV dan menganalisisnya dengan metode analisa aliran daya. Perhitungan analisa aliran daya yang kita lakukan adalah sebanyak 24 kali sesuai periode waktu yang kita gunakan. Hasil dari kerugian daya setiap jam pada jaringan kita sebut sebagai kerugian energi tiap jam dalam bentuk kWh. Metode analisa aliran daya yang kita gunakan merupakan metode analisa aliran daya khusus sistem distribusi radial yang memiliki iterasi perhitungan yang minimal tetapi memiliki hasil perhitungan yang baik. Sehingga kita dapat melakukan perhitungan dengan cepat dan tepat atau dengan kata lain dapat mengefisiensikan waktu. Sebagai tambahan sebelum kita melakukan perhitungan tentunya kita perlu menambahkan kerugian daya pada trafo distribusi kedalam hasil estimasi pembebanan trafo distribusi. Besar nilai kerugian daya didapat dari datasheet trafo yang kemudian disesuaikan dengan prosentase pembebanan trafo pada setiap jam . Hal ini dilakukan karena pemodelan beban yang kita lakukan tidak mengikutkan kerugian daya pada trafo dan data pengukuran yang kita lakukan adalah pengukuran daya pada sisi sekunder trafo distribusi . Data daya yang kita dapat dari sisi sekunder adalah daya yang telah berkurang akibat kerugian yang terjadi pada trafo distribusi.

Kurva permintaan beban harian penyulang yang telah kita dapatkan sebelumnya digunakan untuk mencari nilai *load factor* yang nantinya akan kita gunakan untuk mencari nilai *loss factor*. Kemudian dengan menggunakan nilai loss factor inilah kita akan melakukan perhitungan kerugian energi. Perhitungan analisa aliran daya pada

jaringan hanya perlu dilakukan sekali saja yaitu ketika beban puncak penyulang terjadi bukan beban puncak pada masing-masing trafo distribusi. Setelah di dapatkan kerugian energi pada beban puncak maka dilakukan perhitungan menggunakan berbagai formula *loss factor* yang telah terpublikasi di jurnal internasional. Tahap selanjutnya adalah mendapatkan formula *loss factor* yang sesuai dengan beban saat ini. Caranya adalah dengan membandingkan hasil perhitungan kerugian energi menggunakan *loss factor* dan hasil perhitungan kerugian energi dengan perhitungan tiap jam.

3.2 SISTEM DISTRIBUSI FEEDER PENYULANG NR7 84 BUS

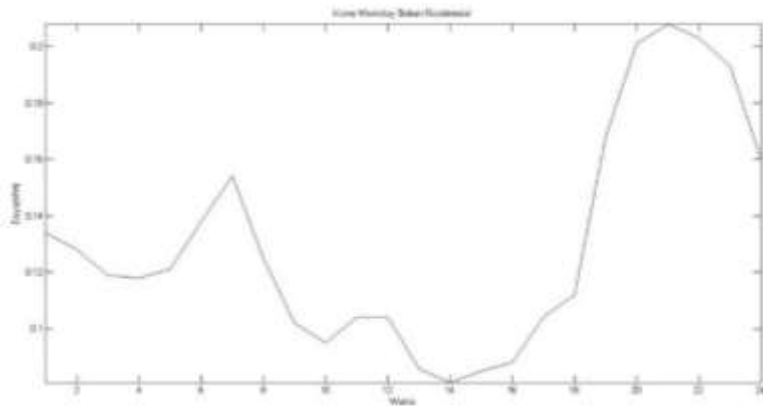
Tugas akhir ini menggunakan sistem distribusi radial dari penyulang NR7 84 bus yang memiliki 83 *sectionalizing switch (normally close)* dan 14 *tie switch (normally open)*.



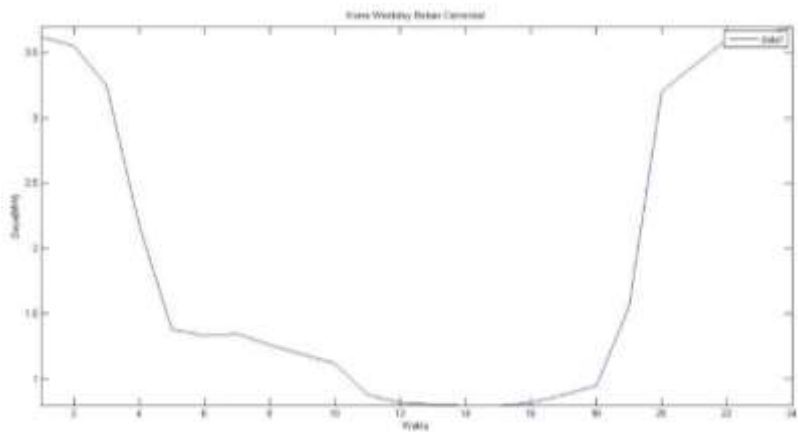
Gambar 3.2 Singe Line Diagram Penyulang NR7

3.3 DATA PENELITIAN

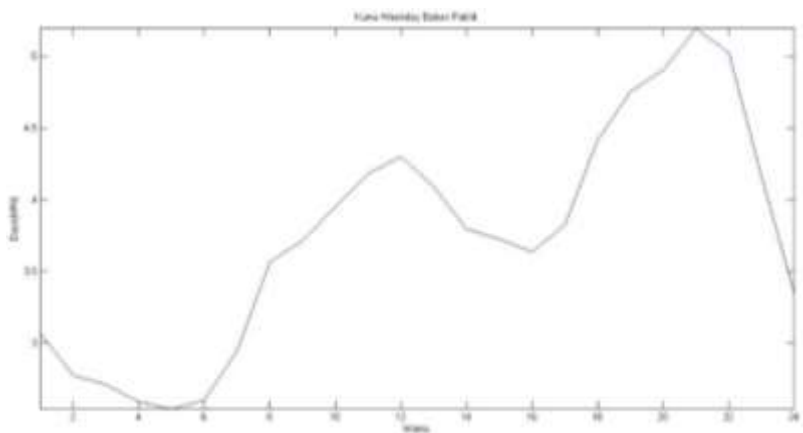
Data pengukuran ,data pelanggan serta data saluran pada penelitian kali ini diambil dari penyulang NR7 yang terletak di Gardu Induk Namorambe, Medan. Komposisi jenis beban pada penyulang NR 7 mayoritas adalah beban residensial. Penyulang NR 7 ini memiliki 84 bus dan 83 saluran yang disuplai dari satu sumber saja. Sedangkan database referensi yang digunakan untuk mengestimasi pembebanan tiap trafo distribusi menggunakan data hasil survei PT. Hagler Bailly Indonesia tentang karakteristik beban daerah-daerah di luar Jawa. Data tersebut berupa kurva karakteristik beban residensial, beban komersial , beban publik dan beban industrial seperti pada *Gambar 3.3 – Gambar 3.6* serta nilai pembebanan dapat dilihat pada Tabel 3.1.



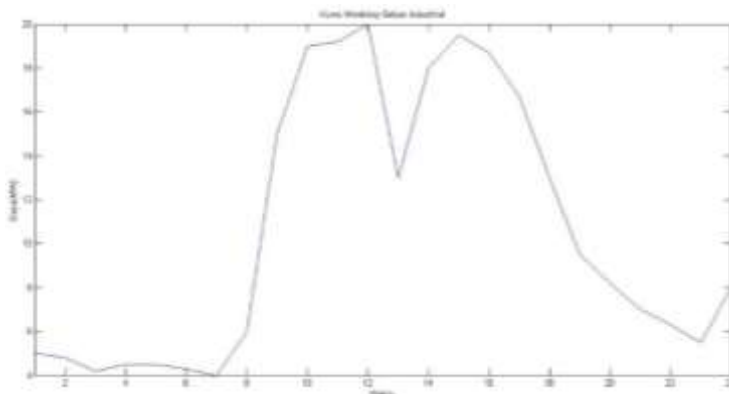
Gambar 3.3 Kurva karakteristik beban residensial.



Gambar 3.4 Kurva karakteristik beban komersial



Gambar 3.5 Kurva karakteristik beban publik



Gambar 3.6 Kurva karakteristik beban industrial

Selain data pembebanan, data referensi juga memuat data faktor daya tiap jenis beban dengan asumsi faktor daya tidak berubah selama 24 jam. Asumsi ini digunakan karena faktor daya cenderung berubah setiap jam dan belum ada survei khusus mengenai karakteristiknya. Faktor daya beban residensial = 0.85, beban publik = 0.88, beban komersial = 0.87, dan beban industrial = 0.9.

Tabel 3.1 Nilai Pembebanan Tiap Jenis Beban *Weekday*

Jam	Residensial Weekday (MW)	Publik Weekday (MW)	Komersial Weekday (MW)	Industrial Weekday (MW)
1	0,134	3.62	3.076	5
2	0,128	3.55	2.776	4.8
3	0,119	3.25	2.713	4.2
4	0,118	2.18	2.59	4.5
5	0,121	1.38	2.544	4.5
6	0,138	1.33	2.602	4.3
7	0,154	1.35	2.946	4
8	0,125	1.26	3.566	6

Tabel 3.1 Nilai Pembebanan Tiap Jenis Beban *Weekday*(lanjutan)

Jam	Residensial Weekday (MW)	Publik Weekday (MW)	Komersial Weekday (MW)	Industrial Weekday (MW)
9	0,102	1.19	3.717	15
10	0,095	1.12	3.95	19
11	0,104	0.88	4.18	19.2
12	0,104	0.82	4.3	20
13	0,086	0.81	4.092	13
14	0,081	0.8	3.796	18
15	0,085	0.8	3.726	19.5
16	0,088	0.82	3.636	18.7
17	0,104	0.88	3.825	16.7
18	0,112	0.95	4.415	13
19	0,168	1.55	4.755	9.5
20	0,201	3.2	4.908	8.2
21	0,208	3.4	5.2	7
22	0,203	3.6	5.028	6.3
23	0,193	3.63	4.16	5.5
24	0,16	3.7	3.349	8

Data seluruh trafo dan jenis bebannya pada penyulang NR 7 dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut :

Tabel 3.2 Data Jenis Beban Setiap Trafo

No	Kode Trafo	Rating	Remark
1	PB368	200	Residensial

Tabel 3.2 Data Jenis Beban Setiap Trafo(lanjutan)

No	Kode Trafo	Rating	Remark
2	PB258	160	Residensial
3	PB421	100	Residensial
4	PB135	160	Residensial
5	PB149	100	Residensial
6	PB137	200	Residensial
7	PB532	100	Residensial
8	PB394	50	Residensial
9	PB333	160	Residensial
10	PB139	160	Residensial
11	PB831	25	Residensial
12	PB494	100	Residensial
13	PB140	160	Residensial
14	PB284	160	Residensial
15	PB498	100	Residensial
16	PB142	315	Residensial
17	PB497	100	Residensial
18	PB 144	400	Residensial
19	PB437	160	Residensial
20	PB207	250	Residensial
21	PB459	100	Residensial
22	PB206	160	Residensial
23	PB460	100	Residensial
24	PB259	100	Residensial
25	PB843	25	Publik
26	PB205	160	Residensial

Tabel 3.2 Data Jenis Beban Setiap Trafo (lanjutan)

No	Kode Trafo	Rating	Remark
27	PB844	25	Komersial
28	PB845	25	Residensial
29	PB500	100	Residensial
30	PB507	200	Residensial
31	PB260	160	Residensial
32	PB535	100	Residensial
33	PB836	25	Komersial
34	PB332	200	Residensial
35	PB838	200	Publik
36	PB138	160	Residensial
37	PB185	100	Residensial
38	PB285	100	Residensial
39	PB839	100	Residensial
40	PB339	100	Residensial
41	PB499	100	Residensial
42	PB493	100	Residensial
43	PB447	200	Residensial
44	PB837	50	Komersial
45	PB136	160	Residensial
46	PB250	100	Publik
47	PB495	100	Residensial
48	PB840	25	Komersial
49	PB841	25	Komersial
50	PB141	315	Residensial
51	PB496	160	Residensial
52	PB143	100	Residensial

Tabel 3.2 Data Jenis Beban Setiap Trafo(lanjutan)

No	Kode Trafo	Rating	Remark
53	PB412	100	Residensial
54	PB518	100	Residensial
55	PB533	160	Komersial
56	PB335	160	Residensial
57	PB349	250	Residensial
58	PB433	100	Publik
59	PB204	160	Residensial
60	PB203	160	Residensial
61	PB187	100	Residensial
62	PB847	250	Publik
63	PB846	100	Komersial

Data pengukuran pada tiap gardu distribusi penyulang NR 7 dapat dilihat pada Table 3.3. Data pengukuran ini berisi kapasitas trafo, prosentase pembebanan saat pengukuran dan jam pengukuran. Data tersebut akan digunakan untuk identifikasi karakteristik jenis beban sehingga didapatkan estimasi pembebanan harian gardu distribusi.

Tabel 3.3 Data Pengukuran Tiap Gardu Distribusi

No	Kode Trafo	Rating	Pembebanan (KVA)	Pembebanan (%)	Jam Pengukuran
1	PB368	200	108	54	19
2	PB258	160	63,8	43	18
3	PB421	100	9	9	18
4	PB135	160	171,2	107	21
5	PB149	100	113	113	21

Tabel 3.3 Data Pengukuran Tiap Gardu Distribusi (lanjutan)

No	Kode Trafo	Rating	Pembebanan (KVA)	Pembebanan (%)	Jam Pengukuran
6	PB137	200	146	73	20
7	PB532	100	51	51	18
8	PB394	50	38,5	77	20
9	PB333	160	129,6	81	21
10	PB139	160	121,6	76	20
11	PB831	25	5	20	11
12	PB494	100	79	79	20
13	PB140	160	84,8	53	19
14	PB284	160	108,8	68	19
15	PB498	100	81	81	21
16	PB142	315	141,75	45	18
17	PB497	100	76	76	20
18	PB144	400	184	46	18
19	PB437	160	120	75	20
20	PB207	250	177,5	71	20
21	PB459	100	65	65	19
22	PB206	160	160	100	21
23	PB460	100	59	59	18
24	PB259	100	81	81	21
25	PB843	25	0,5	2	9
26	PB205	160	80	50	18
27	PB844	25	5,25	21	18
28	PB845	25	8,25	33	18
29	PB500	100	66	66	19
30	PB507	200	100	50	18
31	PB260	160	128	80	22

Tabel 3.3 Data Pengukuran Tiap Gardu Distribusi(lanjutan)

No	Kode Trafo	Rating	Pembebanan (KVA)	Pembebanan (%)	Jam Pengukuran
32	PB535	100	71	71	20
33	PB836	25	4,5	18	18
34	PB332	200	206	103	22
35	PB838	200	42	21	18
36	PB138	160	96	60	19
37	PB185	100	63	63	19
38	PB285	100	26	26	18
39	PB839	100	69	69	19
40	PB339	100	33	33	11
41	PB499	100	39	39	18
42	PB493	100	94	94	21
43	PB447	200	38	19	18
44	PB837	50	16,5	33	18
45	PB136	160	104	65	19
46	PB250	100	22	22	18
47	PB495	100	68	68	19
48	PB840	25	4,25	17	18
49	PB841	25	7,5	30	18
50	PB141	315	59,85	19	18
51	PB496	160	78,4	49	18
52	PB143	100	82	82	21
53	PB412	100	6	6	18
54	PB518	100	14	14	18
55	PB533	160	91,2	57	18
56	PB335	160	96	60	19
57	PB349	250	42,5	17	19

Tabel 3.3 Data Pengukuran Tiap Gardu Distribusi (lanjutan)

No	Kode Trafo	Rating	Pembebanan (KVA)	Pembebanan (%)	Jam Pengukuran
58	PB433	100	44	44	19
59	PB204	160	110,4	69	19
60	PB203	160	116,8	73	20
61	PB187	100	88	88	21
62	PB847	250	57,5	23	18
63	PB846	100	49	49	19

Data tambahan yang diperlukan untuk menghitung kerugian pada jaringan distribusi radial adalah data kerugian trafo yang dapat dilihat pada datasheet masing-masing trafo. Data tersebut meliputi data kerugian trafo ketika kondisi berbeban penuh dan kondisi tanpa beban yang didapat dilihat pada Tabel 3.4 [12] berikut :

Tabel 3.4 *Datasheet* Kerugian pada Trafo Distribusi 3 Fasa PLN

Daya	No Load Losses	Load Losses
kVA	W	W
1	2	3
25	75	475
50	125	800
100	210	1420
160	300	2000
200	355	2350
250	420	2750
315	500	3250
400	595	3850
500	700	4550

Tabel 3.4 *Datasheet* Kerugian pada Trafo Distribusi 3 Fasa PLN (lanjutan)

Daya	No Load Losses	Load Losses
630	835	5400
800	1000	6850
1000	1100	8550
1250	1400	10600
1600	1680	13550
2000	1990	16900
2500	2350	21000

3.4 LOSSES,LOAD FACTOR DAN LOSS FACTOR[4]

3.4.1 Kerugian Teknis

Kerugian teknis terbagi menjadi dua yaitu kerugian kondisi berbeban dan kondisi tidak berbeban. Kerugian berbeban dipengaruhi oleh perubahan arus yang mengalir pada jaringan. Arus yang mengalir pada jaringan tentunya berubah-ubah sesuai perubahan beban. Oleh sebab itu diperlukan pemodelan beban pada masing-masing titik beban selama periode yang ditentukan. Pemodelan beban tersebut memerlukan data karakteristik berbagai jenis beban sehingga dapat diestimasi perubahan beban selama periode tertentu. Kemudian kerugian ini dapat dianalisis menggunakan metode analisa aliran daya berulang kali sebanyak periode waktu yang dipakai sesuai hasil estimasi pembebanan pada masing-masing titik beban.

Sedangkan kerugian tidak berbeban dipengaruhi oleh perubahan tegangan yang terjadi pada jaringan. Kita ketahui bahwa tegangan pada jaringan selalu diusahakan konstan sehingga kerugian kondisi tidak berbeban cenderung konstan. Kerugian tanpa beban ini dapat dilakukan dengan sekali analisa aliran daya.

3.4.2 Loss Factor

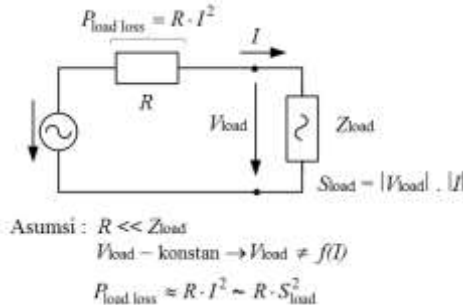
Loss Factor adalah kerugian daya rata-rata dibandingkan terhadap kerugian daya ketika beban puncak yang terjadi selama periode

tertentu. Persamaan *loss factor* dapat dijelaskan dengan persamaan berikut :

$$F_s = \frac{\int_0^T P_{load\ loss} \cdot dt}{T \cdot P_{max\ load\ loss}} \quad (3.1)$$

dimana : F_s = *Loss Factor*
 $P_{load\ loss}$ = Kerugian daya berbeban
 $P_{load\ loss\ max}$ = Kerugian daya ketika beban puncak
 T = Periode

Beban puncak terjadi ketika pembebanan pada jaringan mencapai kondisi maksimal bukan ketika beban puncak masing-masing pelanggan. Telah di jelaskan bahwa kerugian berbeban ini merupakan fungsi arus yang dapat kita ilustrasikan pada *Gambar 3.7* berikut :



Gambar 3.7 Single Line Diagram yang menunjukkan hubungan antar Loss Factor dan Daya yang di transmisikan

Apabila diasumsikan bahwa impedansi beban jauh lebih besar dari pada resistansi jaringan maka drop tegangan karena resistansi jaringan sangat kecil dan dapat diabaikan atau dengan kata lain tegangan beban selalu konstan. Maka daya yang ditransfer (*S*) dapat dianggap proporsional terhadap perubahan arus yang mengalir pada jaringan . Disisi lain, kita ketahui bahwa kerugian daya berbeban merupakan fungsi kuadrat dari arus yang mengalir selama periode *T* dikalikan dengan resistansi jaringan . Hal tersebut membuat persamaan 3.1 dapat di modifikasi menjadi persamaan 3.2 yang menghubungkan antara *loss factor* dan daya yang ditransmisikan (*S*).

$$F_s = \frac{\int_0^T R \cdot I_{load}^2 \cdot dt}{T \cdot R \cdot I_{max\ load}^2} = \frac{\int_0^T S^2 \cdot dt}{T \cdot S_{max}^2} \quad (3.2)$$

dimana : F_s	= <i>Loss Factor</i>
$I_{load\ loss}$	= Kerugian daya berbeban
$I_{max\ load\ loss}$	= Kerugian daya ketika beban puncak
T	= Periode
R	= Resistansi jaringan
S	= Daya yang ditransmisikan
S_{max}	= Daya maksimum yang ditransmisikan

Loss Factor juga dapat diartikan sebagai ekivalen waktu yang menyetarakan kerugian pada beban puncak dengan kerugian yang terjadi selama periode tertentu.

3.4.3 Load Factor

Load factor adalah perbandingan pembebanan rata-rata terhadap pembebanan waktu puncak dalam periode tertentu. Apabila faktor daya dianggap selalu konstan maka *load factor* dapat dijelaskan dengan persamaan 3.3 sebagai berikut :

$$Fd = \frac{\int_0^T S \cdot dt}{T \cdot S_{max}} \quad (3.3)$$

dimana : F_d	= <i>Load Factor</i>
T	= Periode
S	= Daya yang ditransmisikan
S_{max}	= Daya maksimum yang ditransmisikan

Jika dilihat persamaan 3.2 tentang *loss factor* memiliki bentuk yang mirip dengan persamaan 3.3 tentang *load factor*. Kedua persamaan tersebut tentunya memiliki hubungan yang dipengaruhi oleh bentuk kurva pembebanan. Metode estimasi kerugian energi memanfaatkan hubungan kedua faktor tersebut yang dipengaruhi oleh bentuk kurva pembebanan.

3.4.4 Batasan Hubungan Loss Factor dan Load Factor

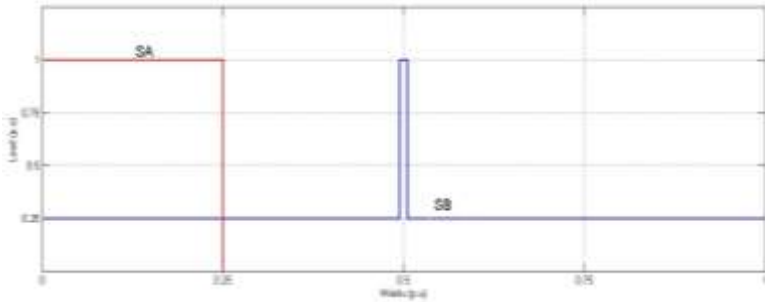
Telah dijelaskan sebelumnya bahwa *loss factor* dan *load factor* memiliki hubungan yang di pengaruhi oleh bentuk kurva pembebanan. Pada kali ini akan digunakan dua kurva pembebanan terorisitas yang ekstrim

untuk menjelaskan hubungan tersebut. Kedua kurva tersebut dituliskan dalam persamaan berikut :

$$S_A = \begin{cases} S_{max} & 0 \leq t \leq F_d \cdot T \\ 0 & F_d \cdot T \leq t \leq T \end{cases} \quad (3.4)$$

$$S_B = \begin{cases} F_d \cdot S_{max} & 0 \leq t \leq 0.5 \cdot T - \Delta\tau \\ S_{max} & 0.5 \cdot T - \Delta\tau < t \leq 0.5 \cdot T + \Delta\tau \\ F_d \cdot S_{max} & 0.5 \cdot T + \Delta\tau < t \leq T \end{cases} \quad (3.5)$$

Apabila diplot persamaan 3.4 akan menghasilkan *Gambar 3.6* berikut :



Gambar 3.8 Kurva pembebanan teoritis untuk memperlihatkan batas hubungan antar *loss factor* dan *load factor*

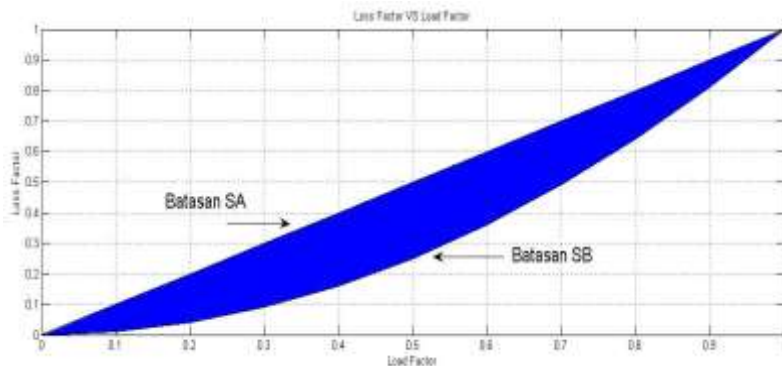
Kurva beban S_A memiliki bagian aktif dan bagian non aktif . Nilai *load factor* kurva beban ini akan bergantung pada panjang interval waktu . Kurva beban tersebut merupakan kurva yang mewakili operasi *star-stop*. Sedangkan kurva beban S_B memiliki karakteristik yang berbeda. Kurva ini menggambarkan operasi tanpa henti suatu pembebanan dengan hanya memiliki waktu beban puncak yang sangat singkat. Nilai *load factor* kurva tersebut bergantung dari nilai pembebanannya.

Pada kurva beban S_A akan memiliki nilai *load factor* dan *loss factor* yang sama . Hal ini berbeda dengan kurva beban S_B yang memiliki nilai pembebanan yang konstan sepanjang periode kecuali hanya sesaat terjadi beban puncak. Kurva beban seperti ini akan memiliki nilai *load factor* dan *loss factor* yang berbeda yaitu, *loss factor* memiliki nilai proporsional secara kuadrat dari *load factor*. Nilai *loss factor* dan *load factor* tersebut dapat dicari dengan persamaan 3.6 dan 3.7 berdasarkan persamaan 3.2 dan 3.3.

$$F_{SA} = \frac{\int_0^{F_d \cdot T} S_{max}^2 \cdot dt}{T \cdot S_{max}^2} = \frac{F_d \cdot T \cdot S_{mak}^2}{T \cdot S_{mak}^2} = F_d \quad (3.6)$$

$$F_{sA} = \frac{\int_0^T (F_d \cdot S_{mak})^2 \cdot dt}{T \cdot S_{mak}^2} = \frac{F_d \cdot S_{mak}^2 \cdot T}{T \cdot S_{mak}^2} = F_d^2 \quad (3.7)$$

Kurva S_A dan S_B adalah kurva yang menjadi batasan hubungan antara *load factor* dan *loss factor*. Apabila kita plot persamaan 3.6 dan 3.7 dengan arsiran area yang memungkinkan menunjukkan hubungan antara keduanya maka akan menghasilkan *Gambar 3.9* seperti berikut :



Gambar 3.9 Batasan hubungan antara *load factor* dan *loss factor* dengan area yang memungkinkan menunjukkan hubungan keduanya

Loss factor harus terletak di antara kedua batas tersebut yang di tandai dengan daerah arsiran. Namun kenyataannya *loss factor* cenderung lebih dekat terhadap batas S_B kerana pada umumnya kerugian pada waktu beban puncak memiliki dampak yang kecil terhadap kerugian yang terjadi.

3.5 BEBERAPA METODE PENDEKATAN UNTUK *LOSS FACTOR*

Metode pendekatan untuk mencari hubungan antara *loss factor* dan *load factor* telah dikembangkan sejak dulu. Terdapat dua metode yang sering dipakai untuk mencari hubungan antara keduanya. Metode pertama adalah pendekatan hubungan antara *load factor* dan *loss factor* secara empiris. Sedangkan metode kedua adalah pendekatan secara matematis dengan menganalisa durasi pembebanan pada kurva beban.

Telah banyak ditemukan berbagai macam rumus yang menjelaskan hubungan antara *load factor* dan *loss factor* dengan menggunakan rumus

dalam bentuk polinomial dan eksponensial. Persamaan 3.8 merupakan pendekatan dengan rumus polinomial dan persamaan 3.9 merupakan pendekatan dengan rumus eksponensial.

$$F_s = A \cdot F_d + B \cdot F_d^2 + C \cdot F_d^3 \quad (3.8)$$

$$F_s = F_d^D \quad (3.9)$$

Parameter A, B dan C pada persamaan 3.8 harus memiliki nilai total sama dengan 1. Sedangkan persamaan 3.9 harus memiliki nilai D antara 1 sampai 2. Kedua persyaratan tersebut menunjukkan bahwa ketika *load factor* bernilai nol maka *loss factor* juga bernilai nol dan ketika *load factor* bernilai satu maka *loss factor* bernilai satu. Hal lain yang perlu diperhatikan adalah fungsi hubungan antara *loss factor* dan *load* harus selalu memiliki nilai dalam batasan daerah arsiran yang telah di jelaskan.

Adapun metode lain menggunakan pendekatan secara matematis menggunakan kurva durasi beban seperti metode Sochinsky tidak menggunakan fungsi polinomial maupun eksponensial. Hal berbeda lain dimiliki oleh metode Dewberry yang mempertimbangkan panjang durasi periode pembebanan serta perbandingan antara S_{min} dan S_{max} . Pendekatan menggunakan metode Dewberry dapat diakui apabila *load factor* (F_s) di bawah 0.8.

3.6 PEMILIHAN FORMULA *LOSS FACTOR*

Pada Tugas Akhir ini akan menggunakan metode perhitungan kerugian energi dengan beberapa rumus *loss factor* yang telah terpublikasi dalam jurnal internasional. Rumus *loss factor* tersebut masih digunakan dalam praktis sampai saat ini. Penamaan rumus *loss factor* ini sering kali menggunakan nama penemu pertama rumus tersebut. Beberapa rumus yang akan digunakan memiliki kemiripan satu sama lain seperti yang terlihat pada tabel 3.5. Tugas Akhir ini akan menguji manakah rumus *loss factor* yang sesuai untuk karakteristik beban saat ini serta memiliki keakuratan yang baik.

Tabel 3.5 Beberapa Rumus Pendekatan *Loss Factor*[4].

$F_S =$	Penemu
$0.3 \cdot F_d + 0.7 \cdot F_d^2$	Buller
$0.2 \cdot F_d + 0.8 \cdot F_d^2$	CitiPower
$0.15 \cdot F_d + 0.85 \cdot F_d^2$	Gangel
$0.083 \cdot F_d + 1.036 \cdot F_d^2 - 0.119 \cdot F_d$	Wolf
$0.08 \cdot F_D + 0.92 \cdot F_d^2$	Gustafon I
$F_d^{1.8}$	Gustafon II
$\frac{F_D^2 \cdot (2 + F_D^2)}{1 + 2 \cdot F_D}$	Sochinsky
$F_d^2 + 0.273 \cdot (F_d)$	Dewberry

3.7 ESTIMASI KERUGIAN ENERGI

Proses estimasi kerugian energi dimulai dengan menghitung *load factor* terlebih dahulu. Hal tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 3.3 setelah data yang dibutuhkan tersedia. Data yang dibutuhkan adalah data pembebanan setiap gardu distribusi selama 24 jam yang diestimasi dengan menggunakan persamaan 2.14-2.15. Serta tidak lupa diperhitungkan kerugian yang terjadi pada trafo distribusi sehingga diharapkan data memiliki akurasi yang baik. Kerugian pada trafo berbeban dapat diselesaikan menggunakan persamaan 2.16.

Tahap berikutnya adalah menghitung nilai *loss factor* yang telah dipaparkan dalam tabel 3.5. Beberapa rumus memiliki persyaratan yang harus dipenuhi seperti Dewberry tidak hanya memerlukan nilai *load factor* namun juga memerlukan nilai pembebanan minimum dan nilai pembebanan maksimum selama periode yang digunakan serta nilai *load factor* harus dibawah 0.8.

Tahap ketiga adalah melakukan kerugian daya sesaat yang terjadi pada beban puncak dengan menggunakan metode analisa aliran daya ZBr. Metode analisa daya tersebut memiliki akurasi yang baik dengan proses iterasi yang minim khusus untuk jaringan distribusi radial. Setelah nilai kerugian pada beban puncak diketahui maka didapatkan kerugian selama 24 jam dengan mengalikanya dengan *loss factor* masing-masing metode. Kerugian tersebut adalah kerugian kondisi berbeban , sedangkan kerugian kondisi tidak berbeban berupa data kerugian trafo tanpa beban. Kerugian energi selama satu tahun dapat di estimasi dengan persamaan 3.10 berikut :

$$E_{loss-T} = E_{loss-load} + E_{loss no load} \quad (3.10)$$

$$= (H \times 24 \times P_{\max \text{ load loss}} \times F_s) + (H \times 24 \times P_{\text{no load}})$$

dimana :

- $E_{\text{loss}-T}$ = Kerugian energi selama setahun
- $E_{\text{loss-load}}$ = Kerugian energi kondisi berbeban
- $E_{\text{loss no load}}$ = Kerugian energi kondisi tidak berbeban
- H = Jumlah hari dalam setahun (365)
- $P_{\max \text{ load loss}}$ = Kerugian daya sesaat ketika beban puncak
- F_s = *Loss factor*
- $P_{\text{no load}}$ = Kerugian kondisi tidak berbeban

Tahap akhir adalah memilih rumus *loss factor* yang sesuai dengan karakteristik beban saat ini , yaitu dengan membandingkan hasil estimasi menggunakan *loss factor* dengan data yang digunakan sebagai referensi. Data referensi ini adalah data kerugian energi hasil perhitungan kerugian daya sesaat kondisi berbeban selama 24 jam atau biasa disebut sebagai *Energy Flow* . Persamaan 3.11 berikut ini akan menjelaskan proses perhitungan *Energy Flow* :

$$E_{\text{load losses}} = \sum_{k=1}^n P_k \quad (3.11)$$

dimana :

- $E_{\text{load losses}}$ = Kerugian Energi berbeban (kWh)
- P_k = Kerugian daya sesaat interval ke-k (kW)
- n = Jumlah interval (24 jam).

BAB IV

SIMULASI DAN ANALISIS

4.1 ESTIMASI PEMBEBANAN TRAFD DISTRIBUSI

Setelah didapatkan data yang diperlukan berupa data pengukuran, data pelanggan , database kurva beban harian tiap jenis beban maka pembebanan tiap trafo selama 24 jam dapat di cari dengan persamaan 2.13 dan 2.14. Jam dilakukannya pengukuran adalah hal yang penting karena digunakan untuk menentukan pembebanan pada interval yang lain. Hasil salah satu estimasi pembebanan trafo selama 24 jam dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut :

Tabel 4.1 Hasil Esimasi Pembebanan Trafo PB368
(200kVA)

Interval ke	Load	
	P (kWh)	Q(kVARh)
1	73,2215	45,3786
2	69,9429	43,3467
3	65,0251	40,2989
4	64,4786	39,9602
5	66,1179	40,9762
6	75,4072	46,7331
7	84,1501	52,1515
8	68,3036	42,3308
9	55,7358	34,5419
10	51,9107	32,1714
11	56,8286	35,2192
12	56,8286	35,2192
13	46,9929	29,1236
14	44,2607	27,4303
15	46,4465	28,7849

Tabel 4.1 Hasil Esimasi Pembebanan Trafo PB368 (200kVA) (lanjutan)

Interval ke	Load	
	P (kWh)	Q(kVARh)
16	48,0857	29,8008
17	56,8286	35,2192
18	61,2000	37,9284
19	91,8001	56,8925
20	109,8323	68,0678
21	113,6573	70,4384
22	110,9252	68,7451
23	105,4609	65,3587
24	87,4287	54,1834

Pada penyuang NR7 ini terdapat 63 trafo distribusi sehingga terdapat 63 hasil estimasi pembebanan. Pada tabel 4.1 setiap interval adalah pembebanan selama satu jam , misalnya interval pertama adalah pembebanan pada trafo mulai pukul 00.00 sampai dengan 01.00 dan interval kedua adalah pembebanan mulai jam 01.00 sampai dengan 02.00 begitu seterusnya sampai interval terakhir.

4.2 ANALISIS KERUGIAN PADA TRAFD DISTRIBUSI

Kerugian daya yang terjadi pada transformator dapat di klasifikasikan menjadi dua yaitu kerugian daya tanpa beban (*No Load Losses*) dan kerugian daya berbeban (*Load Losses*). Kerugian daya tanpa beban pasti memiliki nilai yang selalu tetap , sedangkan nilai kerugian daya kondisi berbeban akan memiliki nilai yang berubah-ubah sesuai kondisi pembebanan trafo. Data yang kita dapat dari datasheet trafo adalah kVA, *No-Load Losses* dan *Rated Load Losses*. Berikut adalah contoh hasil analisis kerugian trafo PB258 (160kVA) :

Tabel 4.2 Hasil Estimasi Kerugian Trafo PB258 (160kVA)

Interval	<i>Losses</i>		<i>Total Losses</i>
	Load (kW)	No Load (kW)	P(kW)
1	0,4552	0,3	0,7552
2	0,4154	0,3	0,7154
3	0,3590	0,3	0,659
4	0,3530	0,3	0,653
5	0,3712	0,3	0,6712
6	0,4828	0,3	0,7828
7	0,6012	0,3	0,9012
8	0,3961	0,3	0,6961
9	0,2638	0,3	0,5638
10	0,2288	0,3	0,5288
11	0,2742	0,3	0,5742
12	0,2742	0,3	0,5742
13	0,1875	0,3	0,4875
14	0,1663	0,3	0,4663
15	0,1832	0,3	0,4832
16	0,1963	0,3	0,4963
17	0,2742	0,3	0,5742
18	0,3180	0,3	0,618
19	0,7155	0,3	1,0155
20	1,0242	0,3	1,3242
21	1,0968	0,3	1,3968
22	1,0447	0,3	1,3447
23	0,9443	0,3	1,2443
24	0,6490	0,3	0,949

Total kerugian energi 63 trafo kondisi berbeban adalah 719,85 kWh/hari dan total kerugian energi 63 trafo kondisi tidak berbeban adalah

386,6 kWh/hari. Sedangkan total kerugian energi tiap interval di paparkan pada tabel 4.3 berikut :

Tabel 4.3 Hasil Analisis Kerugian Energi Pada 63 Trafo Penyulang NR7

Interval	<i>Losses</i>		<i>Total Losses</i>
	Load (kWh)	No Load (kWh)	P (kWh)
1	37,6715	16,11	53,7815
2	35,0320	16,11	51,142
3	29,9484	16,11	46,0584
4	23,4536	16,11	39,5636
5	21,3625	16,11	37,4725
6	26,9883	16,11	43,0983
7	33,2126	16,11	49,3226
8	22,4916	16,11	38,6016
9	15,5095	16,11	31,6195
10	13,5844	16,11	29,6944
11	15,4717	16,11	31,5817
12	15,3924	16,11	31,5024
13	10,8505	16,11	26,9605
14	9,6743	16,11	25,7843
15	10,5282	16,11	26,6382
16	11,2228	16,11	273328
17	15,3907	16,11	31,5007
18	17,9261	16,11	34,0361
19	40,1234	16,11	56,2334
20	64,4163	16,11	80,5263

Tabel 4.3 Hasil Analisis Kerugian Energi Pada 63 Trafo Penyulang NR7 (lanjutan)

Interval	<i>Losses</i>		<i>Total Losses</i>
	Load (kWh)	No Load (kWh)	P (kWh)
21	69,6474	16,11	85,7574
22	68,3942	16,11	84,5042
23	63,2158	16,11	79,3258
24	48,3448	16,11	64,4548
Total	719,853	386,64	1.106,493

4.3 HASIL ANALISIS TOTAL PEMBEBANAN PENYULANG NR7 84 BUS KOTA MEDAN

Total pembebanan penyulang merupakan penjumlahan tiap titik beban pada setiap interval . Total pembebanan ini membentuk karakteristik yang khas sesuai komposisi beban. Dengan menggunakan persamaan 2.15 di dapatkan hasil total pembebanan penyulang sebagai berikut :

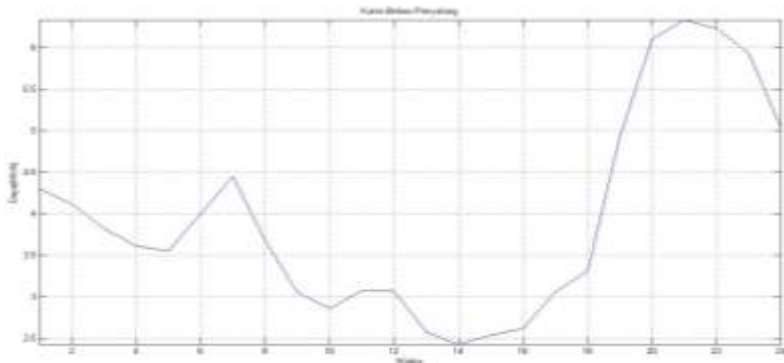
Tabel 4.4 Hasil Identifikasi Pembebanan Penyulang NR7

Interval ke	Total Energi (kWh)
1	4.273,06
2	4.091,175
3	3.799,945
4	3.589,645
5	3.533,49
6	3.978,045
7	4.418,347
8	3.657,119
9	3.041,064
10	2.852,306
11	3.059,231

Tabel 4.4 Hasil Identifikasi Pembebanan
Penyulang NR7(lanjutan)

Interval ke	Total Energi (kWh)
12	3.053,603
13	2.566,955
14	2.421,787
15	2.525,275
16	2.604,86
17	3.046,149
18	3.291,754
19	4.889,751
20	6.046,851
21	6.276,735
22	6.171,314
23	5.879,181
24	4.985,96

Dapat dilihat pada Tabel 4.4 adalah hasil estimasi pembebanan penyulang NR7 84 bus Kota Medan. Apabila kerugian energi tiap interval di satukan maka akan di dapatkan kurva karakteristik penyulang . Kurva karakteristik penyulang tersebut memiliki bentuk yang menyerupai kurva karakteristik beban residensial . Hal tersebut di karenakan komposisi beban pada sistem kebanyakan adalah beban residensial. Kurva karaekteristik pembebanan penyulang dapat dilihat pada *Gambar 4.1*.



Gambar 4.1 Kurva Karakteristik Pembebanan Penyulang NR7 84 bus

4.4 HASIL SIMULASI ANALISIS ALIRAN ENERGI PADA PENYULANG NR7 84 BUS

Aliran energi di dapatkan dari perhitungan aliran energi 24 interval dari hasil estimasi yang telah dijelaskan sebelumnya . Perhitungan tersebut dilakukan dengan bantuan analisis aliran daya ZBr. Hasil kerugian daya dan minimum tegangan pada tiap interval dapat di amati pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Analisis Kerugian Energi JTM Penyulang NR7 84 bus

Interval	Kerugian Energi		Minimum Voltage (kV)
	Aktif (kWh)	Reaktif (kVARh)	
1	15,7417	24,0870	19,8464
2	14,4266	22,0748	19,8530
3	12,4149	18,9966	19,8636
4	10,9103	16,6942	19,8723
5	10,4491	15,9884	19,8753
6	13,2360	20,2527	19,8598
7	16,3485	25,0152	19,8442
8	11,1930	17,1266	19,8709

Tabel 4.5 Analisis Kerugian Energi JTM Penyulang NR7 84 bus (lanjutan)

Interval	Kerugian Energi		Minimum Voltage (kV)
	Aktif (kWh)	Reaktif (kVARh)	
9	7,7419	11,8460	19,8924
10	6,8107	10,4213	19,8990
11	7,8028	11,9393	19,8920
12	7,7688	11,8872	19,8923
13	5,4937	8,4060	19,9093
14	4,8885	7,4799	19,9144
15	5,3116	8,1274	19,9109
16	5,6508	8,6464	19,9081
17	7,7306	11,8287	19,8926
18	9,0451	13,8402	19,8838
19	20,1267	30,7963	19,8269
20	31,3101	47,9085	19,7839
21	33,8104	51,7343	19,7755
22	32,7385	50,0942	19,7790
23	29,6986	45,4428	19,7895
24	21,3917	32,7322	19,8212
Total	342,0405	523,3662	19,7755

Pada tabel 4.5 di atas dapat dilihat bahwa kerugian energi pada penyulang NR7 adalah 342,0405 kWh/hari dan tegangan minimum yang terjadi selama pengoperasian adalah 19,7755 kV. Hasil analisis aliran energi dengan 24 kali perhitungan ini akan dijadikan acuan perhitungan analisis aliran energi menggunakan *loss factor*.

Selain hal di atas persentase kerugian energi yang terjadi pada jaringan dapat di cari dengan menghitung total aliran energi pada jaringan terlebih dahulu seperti pada tabel berikut :

Tabel 4.6 Analisis Total Aliran Energi Per Hari Pada Penyulang NR7

Kerugian Energi (kWh)			Pembebanan (kWh)	Total Aliran Energi (kWh)
JTM	Losses Trafo			
	Load	No Load		
342,04	719,853	386,64	94.688,3	96.136,83

Tabel 4.6 menunjukkan bahwa total kerugian yang terjadi pada jaringan adalah 1.506% per hari. Kerugian lebih dominan terjadi pada trafo. Hal ini karena trafo memiliki resistansi yang lebih besar dibandingkan dengan jaringan. Namun kerugian tersebut belum termasuk kerugian yang terjadi pada jaringan tegangan rendah.

4.5 PERHITUNGAN NILAI *LOAD FACTOR* DAN *LOSS FACTOR* SISTEM

4.5.1 *Load Factor*

Nilai *load factor* di dapatkan dari kurva total pembebanan penyulang yang sudah termasuk kerugian trafo kondisi berbeban didalamnya. Perhitungan tersebut dapat diselesaikan dengan persamaan 3.3. Nilai *load factor* penyulang NR7 adalah 0,622533.

4.5.2 *Loss Factor*

Setelah nilai *load factor* didapatkan maka kita dapat menghitung nilai *loss factor* dengan menggunakan sembilan formula yang masih banyak digunakan pada perhitungan kerugian energi saat ini. Selain menggunakan formula yang telah terpublikasi tersebut kita dapat melakukan perhitungan *loss factor* dengan persamaan 3.2 yang selanjutnya kita sebut *loss factor* hasil perhitungan simulasi. Masing-masing formula menghasilkan nilai *loss factor* yang berlainan seperti pada tabel 4.7 berikut ini :

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan *Loss Factor*

Penemu	Nilai <i>Loss Factor</i>
Perhitungan Simulasi	0,4239
Buller	0,4580

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan *Loss Factor* (lanjutan)

Penemu	Nilai <i>Loss Factor</i>
CitiPower	0,4345
Gangel	0,4228
Wolf	0,4245
Gustafon I	0,4063
Gustafon II	0,4041
Sochinsky	0,4121
Dewberry	0,4528
Junge	0,4261

4.6 ESTIMASI KERUGIAN ENERGI DENGAN *LOSS FACTOR*

Setelah didapatkan nilai *loss factor* dari berbagai macam metode maka dapat dilakukan estimasi kerugian energi yang terjadi selama periode yang di tentukan. Perhitungan kerugian energi dengan *loss factor* hanya memerlukan analisis aliran daya pada beban puncak sehingga di dapatkan kerugian daya saat terjadi pembebanan maksimal. Tahap selanjutnya dilakukan estimasi kerugian energi dengan persamaan 3.10 yang hasilnya dapat di lihat pada tabel 4.8. Beban puncak penyulang terjadi pada interval ke 21 yaitu pukul 20.00 – 21.00 WIB. Besar kerugian daya pada beban puncak adalah 33,8104 kW pada penyulang. Nilai error pada table 4.8 di dapatkan dari perbandingan hasil estimasi kerugian energi dengan metode analisis aliran energi sebanyak 24 kali simulasi.

Tabel 4.8 Hasil Estimasi Kerugian Energi Per Hari JTM NR7 Menggunakan *Loss Factor*

Penemu	Kerugian Energi (kWh)	Error
Gangel	343,07669	0,30 %
Wolf	344,42696	0,70 %
Junge	345,74304	1,08 %
Sochinsky	334,43276	2,22 %

Tabel 4.8 Hasil Estimasi Kerugian Energi Per Hari JTM NR7 Menggunakan *Loss Factor* (lanjutan)

Penemu	Kerugian Energi (kWh)	Error
Citi Power	352,61064	3,09 %
Gustafon I	329,72915	3,60 %
Gustafon II	327,86844	4,14 %
Dewberry	367,42333	7,42 %
Buller	371,67855	8,67 %

4.7 TOTAL ESTIMASI KERUGIAN ENERGI SELAMA SATU TAHUN

Total kerugian energi biasanya di nyatakan dalam kerugian per tahun dengan satuan kWh sebagai mana telah dijelaskan oleh persamaan 3.10. Berikut data hasil estimasi kerugian energi dengan analisis aliran energi dan data hasil estimasi kerugian energi dengan bantuan *loss factor*.

Tabel 4.9 Estimasi Kerugian Energi dengan Analisis Aliran Energi

Kerugian Energi (kWh)/hari			Total Kerugian (kWh)/hari	Total Kerugian Energi (MWh)/tahun
JTM	Losses Trafo			
	Load	No Load		
342,04	719,853	386,64	1.448,533	528,7145

Tabel 4.10 Estimasi Kerugian Energi dengan *Loss Factor*

Penemu	Kerugian Energi (kWh)/hari			Total Kerugian (kWh)/hari	Total Kerugian Energi (MWh)/tahun
	JTM	Losses Trafo			
		Load	No Load		
Gangel	343,076 69	719,85 3	386,6 4	1.449,570	529,093

Tabel 4.10 Estimasi Kerugian Energi dengan *Loss Factor*(lanjutan)

Penemu	Kerugian Energi (kWh)/hari			Total Kerugian (kWh)/hari	Total Kerugian Energi (MWh)/tahun
	JTM	Losses Trafo			
		Load	No Load		
Wolf	344,426	719,853	386,64	1.450,920	529,586
Junge	345,743	719,853	386,64	1.452,236	530,066
Sochinsky	334,432	719,853	386,64	1.440,926	525,938
Citi Power	352,610	719,853	386,64	1.459,104	532,573
Gustafon I	329,729	719,853	386,64	1.436,222	524,221
Gustafon II	327,868	719,853	386,64	1.434,361	523,542
Dewberry	367,423	719,853	386,64	1.473,916	537,979
Buller	371,678	719,853	386,64	1.478,72	539,533

4.8 HASIL VALIDASI METODE ANALISA ALIRAN DAYA

Pengujian hasil analisa aliran daya dengan metode K-Matrik dan ZBr terhadap software ETAP memiliki hasil *mismatch* rata-rata sebesar 0,00007 pada perhitungan kerugian daya. Hal ini menunjukkan bahwa keakuratan Metode Zbr sangat baik dan sesuai untuk jaringan distribusi radial. Berikut perbandingan analisis aliran daya ketika beban puncak penyulang terjadi.

Tabel 4.11 Hasil Validasi Tegangan Metode Analisa Aliran Daya K-Matrik dan ZBr dengan Software ETAP

Bus	ETAP	K-Matrik	<i>Mismatch</i>
	Tegangan (kV)	Tegangan (kV)	
1	20	20	0,00000
2	19,931	19,9306	0,00040

Tabel 4.1 Hasil Validasi Tegangan Metode Analisa Aliran Daya K-Matrik dan ZBr dengan Software ETAP (lanjutan)

Bus	ETAP	K-Matrik	<i>Mismatch</i>
	Tegangan (kV)	Tegangan (kV)	
3	19,928	19,9278	0,00020
4	19,922	19,9223	0,00030
5	19,917	19,9169	0,00010
6	19,912	19,9116	0,00040
7	19,906	19,9062	0,00020
8	19,901	19,901	0,00000
9	19,891	19,8909	0,00010
10	19,886	19,886	0,00000
11	19,881	19,8813	0,00030
12	19,877	19,8766	0,00040
13	19,874	19,8743	0,00030
14	19,872	19,8721	0,00010
15	19,868	19,8677	0,00030
16	19,863	19,8634	0,00040
17	19,855	19,855	0,00000
18	19,851	19,851	0,00000
19	19,843	19,843	0,00000
20	19,839	19,839	0,00000
21	19,835	19,8351	0,00010
22	19,833	19,8332	0,00020
23	19,826	19,8258	0,00020
24	19,822	19,8222	0,00020

Tabel 4.11 Hasil Validasi Tegangan Metode Analisa Aliran Daya K-Matrik dan ZBr dengan Software ETAP (lanjutan)

Bus	ETAP	K-Matrik	<i>Mismatch</i>
	Tegangan (kV)	Tegangan (kV)	
25	19,815	19,8151	0,00010
26	19,811	19,8107	0,00030
27	19,809	19,809	0,00000
28	19,808	19,8076	0,00040
29	19,802	19,802	0,00000
30	19,799	19,7994	0,00040
31	19,797	19,7968	0,00020
32	19,792	19,7922	0,00020
33	19,790	19,7899	0,00010
34	19,788	19,788	0,00000
35	19,786	19,7862	0,00020
36	19,785	19,7853	0,00030
37	19,785	19,7845	0,00050
38	19,783	19,7831	0,00010
39	19,782	19,7817	0,00030
40	19,780	19,7805	0,00050
41	19,780	19,7799	0,00010
42	19,779	19,7788	0,00020
43	19,778	19,7777	0,00030
44	19,777	19,7772	0,00020
45	19,776	19,7762	0,00020
46	19,775	19,7752	0,00020

Tabel 4.11 Hasil Validasi Tegangan Metode Analisa Aliran Daya K-Matrik dan ZBr dengan Software ETAP (lanjutan)

Bus	ETAP	K-Matrik	<i>Mismatch</i>
	Tegangan (kV)	Tegangan (kV)	
47	19,775	19,7746	0,00040
48	19,774	19,7743	0,00030
49	19,774	19,7738	0,00020
50	19,773	19,7735	0,00050
51	19,773	19,773	0,00000
52	19,773	19,7729	0,00010
53	19,773	19,7728	0,00020
54	19,917	19,9169	0,00010
55	19,891	19,8907	0,00030
56	19,881	19,8812	0,00020
57	19,855	19,8548	0,00020
58	19,855	19,8548	0,00020
59	19,826	19,8258	0,00020
60	19,815	19,815	0,00000
61	19,799	19,7993	0,00030
62	19,792	19,792	0,00000
63	19,922	19,9219	0,00010
64	19,922	19,9218	0,00020
65	19,886	19,8856	0,00040
66	19,885	19,8853	0,00030
67	19,843	19,843	0,00000
68	19,809	19,8088	0,00020

Tabel 4.11 Hasil Validasi Tegangan Metode Analisa Aliran Daya K-Matrik dan ZBr dengan Software ETAP (lanjutan)

Bus	ETAP	K-Matrik	<i>Mismatch</i>
	Tegangan (kV)	Tegangan (kV)	
69	19,808	19,8085	0,00050
70	19,808	19,8082	0,00020
71	19,808	19,8081	0,00010
72	19,808	19,808	0,00000
73	19,802	19,8018	0,00020
74	19,802	19,8018	0,00020
75	19,802	19,8018	0,00020
76	19,790	19,7898	0,00020
77	19,784	19,7843	0,00030
78	19,780	19,7798	0,00020
79	19,775	19,7747	0,00030
80	19,774	19,7745	0,00050
81	19,774	19,7743	0,00030
82	19,773	19,7729	0,00010
83	19,773	19,7728	0,00020
84	19,773	19,7727	0,00030

Tabel 4.12 Hasil Validasi Arus dan *Losses* Metode K-Matrik dan ZBr dengan Software ETAP

dari Bus	ke Bus	ETAP	K-Matrik	<i>Mismatch</i>	ETAP	K-Matrik	<i>Mismatch</i>
		Arus (A)	Arus (A)		kW loss	kW loss	
1	2	186,7	186,723	0,02290	13,557	13,5557	0,00130
2	3	182,9	182,840	0,05980	0,542	0,5416	0,00040
3	4	179,4	179,398	0,00240	1,043	1,0427	0,00030
4	5	173,5	173,432	0,06840	0,975	0,9745	0,00050
5	6	173	172,966	0,03410	0,97	0,9693	0,00070
6	7	172,5	172,483	0,01740	0,964	0,9639	0,00010
7	8	167,5	167,466	0,03370	0,909	0,9087	0,00030
8	9	164,2	164,195	0,00540	1,748	1,747	0,00100
9	10	158,1	158,081	0,01900	0,81	0,8097	0,00030
10	11	152,6	152,582	0,01810	0,755	0,7543	0,00070
11	12	151,2	151,150	0,04990	0,74	0,7402	0,00020
12	13	146,8	146,776	0,02430	0,349	0,349	0,00000
13	14	144,1	144,032	0,06840	0,336	0,3361	0,00010
14	15	142,9	142,878	0,02180	0,662	0,6614	0,00060
15	16	139,1	139,116	0,01560	0,627	0,627	0,00000
16	17	135,5	135,459	0,04140	1,189	1,189	0,00000
17	18	129,8	129,743	0,05680	0,546	0,5454	0,00060
18	19	129,5	129,453	0,04680	1,086	1,0859	0,00010
19	20	128,7	128,699	0,00070	0,537	0,5367	0,00030
20	21	126,3	126,326	0,02640	0,517	0,5171	0,00010
21	22	123,3	123,280	0,01980	0,246	0,2462	0,00020

Tabel 4.12 Hasil Validasi Arus dan *Losses* Metode K-Matrik dan ZBr dengan Software ETAP (lanjutan)

dari Bus	ke Bus	ETAP	K-Matrik	<i>Mismatch</i>	ETAP	K-Matrik	<i>Mismatch</i>
		Arus (A)	Arus (A)		kW loss	kW loss	
22	23	119,4	119,373	0,02740	0,924	0,9234	0,00060
23	24	118	118,003	0,00310	0,451	0,4512	0,00020
24	25	115,7	115,652	0,04770	0,867	0,8667	0,00030
25	26	113,2	113,147	0,05320	0,522	0,5223	0,00030
26	27	105,5	105,504	0,00420	0,18	0,1803	0,00030
27	28	92,3	92,282	0,01810	0,138	0,138	0,00000
28	29	90,02	90,000	0,02030	0,525	0,5249	0,00010
29	30	86,53	86,513	0,01670	0,243	0,2425	0,00050
30	31	84,6	84,581	0,01880	0,232	0,2318	0,00020
31	32	74,66	74,643	0,01740	0,361	0,361	0,00000
32	33	72,54	72,520	0,01970	0,171	0,1704	0,00060
33	34	62,86	62,830	0,02970	0,128	0,1279	0,00010
34	35	59,26	59,227	0,03340	0,114	0,1137	0,00030
35	36	53,91	53,874	0,03610	0,047	0,047	0,00000
36	37	51,57	51,535	0,03500	0,043	0,043	0,00000
37	38	48,09	48,065	0,02520	0,075	0,0749	0,00010
38	39	43,45	43,426	0,02400	0,061	0,0611	0,00010
39	40	40,25	40,230	0,02030	0,052	0,0524	0,00040
40	41	37,9	37,876	0,02410	0,023	0,0232	0,00020
41	42	36,36	36,344	0,01620	0,043	0,0428	0,00020
42	43	36,34	36,324	0,01650	0,043	0,0427	0,00030

Tabel 4.12 Hasil Validasi Arus dan *Losses* Metode K-Matrik dan ZBr dengan Software ETAP (lanjutan)

dari Bus	ke Bus	ETAP	K-Matrik	<i>Mismatch</i>	ETAP	K-Matrik	<i>Mismatch</i>
		Arus (A)	Arus (A)		kW loss	kW loss	
43	44	32,01	31,996	0,01430	0,017	0,0166	0,00040
44	45	31,47	31,450	0,02050	0,032	0,032	0,0000
45	46	31,02	31,005	0,01520	0,031	0,0311	0,00010
46	47	22,05	22,038	0,01240	0,016	0,0157	0,00030
47	48	19,68	19,663	0,01680	0,006	0,0063	0,00030
48	49	14,27	14,267	0,00260	0,007	0,0066	0,00040
49	50	10,49	10,487	0,00280	0,004	0,0036	0,00040
50	51	7,723	7,723	0,00020	0,002	0,0039	0,00190
51	52	5,139	5,139	0,00040	0,001	0,0009	0,00010
52	53	3,166	3,166	0,00020	0	0,0003	0,00030
5	54	0,466	0,466	0,00010	0	0	0,00000
9	55	6,111	6,114	0,00260	0,001	0,0012	0,00020
11	56	1,434	1,434	0,00010	0	0,0001	0,00010
17	57	5,712	5,715	0,00340	0,001	0,0011	0,00010
57	58	2,262	2,262	0,00040	0	0,0002	0,00020
23	59	1,369	1,370	0,00050	0	0,0001	0,00010
25	60	2,506	2,506	0,00040	0	0,0002	0,00020
30	61	1,932	1,932	0,00020	0	0,0001	0,00010
32	62	2,122	2,123	0,00050	0	0,0003	0,00030
4	63	5,956	5,966	0,01010	0,002	0,0023	0,00030
63	64	2,049	2,049	0,00020	0	0,0001	0,00010

Tabel 4.12 Hasil Validasi Arus dan *Losses* Metode K-Matrik dan ZBr dengan Software ETAP (lanjutan)

dari Bus	ke Bus	ETAP	K-Matrik	<i>Mismatch</i>	ETAP	K-Matrik	<i>Mismatch</i>
		Arus (A)	Arus (A)		kW loss	kW loss	
10	65	5,507	5,499	0,00780	0,003	0,0025	0,00050
65	66	3,768	3,760	0,00760	0,001	0,0009	0,00010
19	67	0,754	0,754	0,00000	0	0	0,00000
27	68	13,23	13,223	0,00740	0,003	0,0028	0,00020
68	69	10,76	10,753	0,00680	0,004	0,0037	0,00030
69	70	8,288	8,284	0,00420	0,002	0,0022	0,00020
70	71	7,496	7,491	0,00490	0,001	0,0009	0,00010
71	72	4,258	4,254	0,00420	0,001	0,0006	0,00040
29	73	3,486	3,487	0,00050	0,001	0,0008	0,00020
73	74	1,081	1,082	0,00050	0	0	0,00000
74	75	0,757	0,757	0,00040	0	0	0,00000
33	76	9,687	9,694	0,00730	0,002	0,0015	0,00050
37	77	3,478	3,470	0,00770	0	0,0008	0,00080
41	78	1,532	1,532	0,00020	0	0,0002	0,00020
46	79	8,967	8,967	0,00020	0,005	0,0052	0,00020
79	80	7,562	7,562	0,00010	0,002	0,0019	0,00010
80	81	3,544	3,556	0,01200	0	0,0004	0,00040
51	82	2,585	2,585	0,00020	0	0,0002	0,00020
52	83	1,974	1,974	0,00030	0	0,0001	0,00010
53	84	3,166	3,166	0,00020	0	0,0002	0,00020
					34,496	34,4902	0,00007

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari perancangan dan pembuatan tugas akhir ini, dapat diperoleh beberapa kesimpulan antara lain:

1. Bentuk kurva karakteristik pembebanan penyulang NR7 menyerupai bentuk kurva residensial karena komposisi beban pada penyulang tersebut didominasi dengan beban residensial.
2. Beban puncak penyulang NR7 terjadi pada interval ke 21 yaitu pukul 20.00 – 21.00. Hal ini dikarenakan jam tersebut merupakan puncak pemakaian energi listrik oleh beban perumahan.
3. Prosentase pembebanan tiap jenis beban adalah sebagai berikut: beban residensial = 81.25 %, beban publik = 7.81 %, beban komersial = 10.94 %, dan beban industri = 0 %.
4. Nilai *load factor* penyulang NR7 adalah 0,622533.
5. Estimasi kerugian energi dengan analisis aliran energi membutuhkan 24 kali simulasi sedangkan estimasi kerugian energi dengan *loss factor* hanya membutuhkan sekali simulasi ketika beban puncak terjadi.
6. Metode *loss factor* yang memiliki eror terkecil terhadap hasil perhitungan metode aliran energi pada penyulang NR7 adalah Gangel dengan error 0.3%.

5.2 SARAN

Saran yang dapat diberikan untuk perbaikan perangkat lunak yang telah dibuat adalah :

1. Perlunya di adakan survei kurva karakteristik beban dengan interval yang lebih banyak sehingga hasil estimasi dapat memiliki hasil yang lebih baik.
2. Perlunya penelitian lebih lanjut untuk perhitungan kerugian energi dengan *loss factor* pada penyulang yang tidak di dominasi dengan beban residensial.
3. Dapat dilakukan penelitian tentang penurunan kerugian energi dengan *loss factor* pada jaringan distribusi radial menggunakan algoritma tertentu.

4. PT.PLN dapat memanfaatkan kurva penyulang dari saluran outgoing trafo untuk menentukan *load factor* penyulang dan melakukan pengukuran daya pada setiap titik beban pada jam terjadinya beban puncak penyulang sehingga dapat menghitung kerugian energi pada penyulang tersebut cukup dengan sekali simulasi.

DAFTAR PUSTAKA

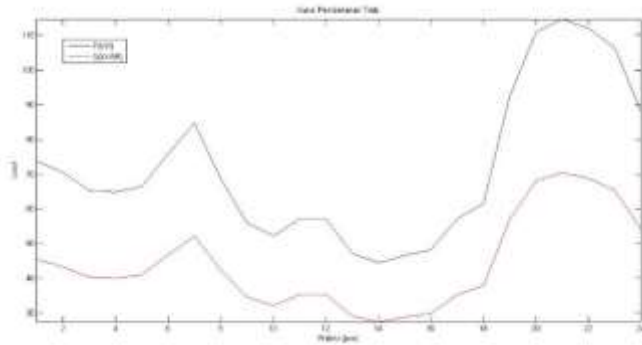
- [1] Heneka Yoma Priyanga, "*Pengembangan Software Analisis Aliran Energi Tiga Fasa Untuk Estimasi Aliran Energi Tiga Fasa Pada Jaringan Distribusi*," Tugas Akhir Teknik Elektro-ITS, 2005.
- [2] Pungki Priambodo, "*Analisa Aliran Daya Tiga Fasa Tak Seimbang Menggunakan Metode K-Matrik dan ZBr Pada Sistem Distribusi 20kV Kota Surabaya*",2013.
- [3] Judith B. Cardell, "*Improved Marginal Loss Calculations During Hours of Transmission Congestion*," Hawaii International Conference on System Sciences,2005.
- [4] J.Dickert, M. Hable, P.Schegner, "*Energy Loss Estimation in Distribution Network for Planning Purpose*", IEEE Bucharest Power Tech Conference ,2009.
- [5] M.Zaini Rohmawan, "*Identifikasi Karakteristik Jenis Beban Pada Jaringan Distribusi Radial Untuk Estimasi Pembebanan Trafo Distribusi*," Tugas Akhir Teknik Elektro-ITS, 2006.
- [6] Turan Gonen, "*Electric Power Distribution System Engineering*", McGraw-Hill Book Company, 1987.
- [7] PT. Hagler Bailly Indonesia, "*Outside Java Load Characteristics Survey*", PT. PLN Persero, Jakarta, Juni 1997.
- [8] Retno Dwi Maharti, "*Ramlan Beban Berdasarkan Estimasi Beban Puncak Untuk Kebutuhan Tenaga Listrik Di Jawa Timur Sampai Tahun 2000*", Tugas Akhir Teknik Elektro-ITS, 1985.
- [9] Hadi, Abdul, Pabla, As.,"*Sistem Distribusi Daya Listrik*", Erlangga Cetakan Pertama , Bandung, 1994
- [10] A. S. Pabla, *Electric Power Distribution* 5th Editon, McGraw-Hill Book Co., Agustus 2003, hal-9.
- [11] Jeff Triptett, Stephen Riniel, Jim Foote.,"*Evaluating Distribution System Losses Using Data From Deployed AMI dan GIS System*", IEEE Rural Power Conference (REPC),2010.
- [12] SPLN D3.002-1 : 2007, Spesifikasi Transformator Distribusi.

--- *Halaman ini sengaja di kosongkan* ---

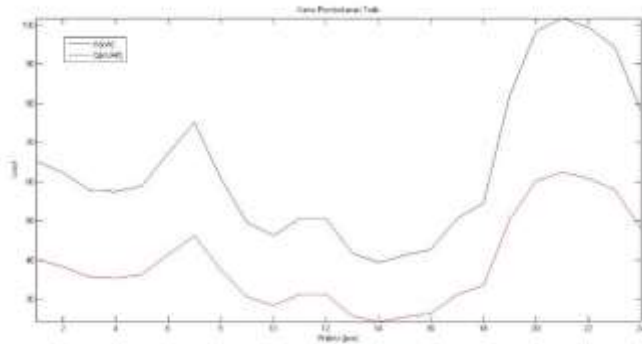
LAMPIRAN A

Kurva hasil estimasi pembebanan trafo distribusi selama 24 jam pada penyulang NR 7 adalah sebagai berikut :

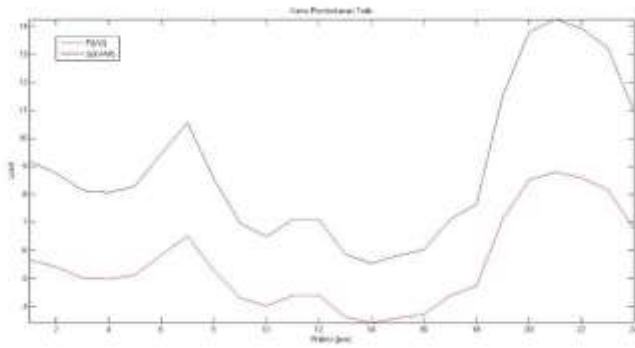
1. Kurva Pembebanan Trafo PB368



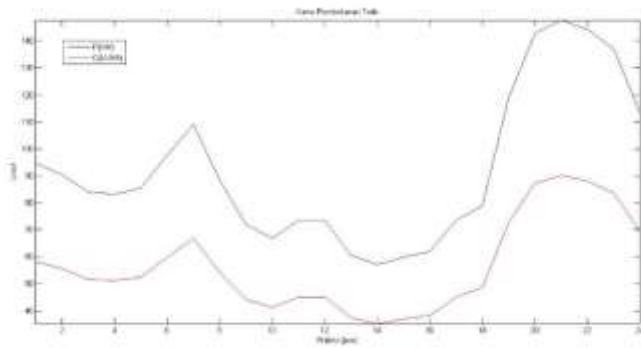
2. Kurva Pembebanan Trafo PB258



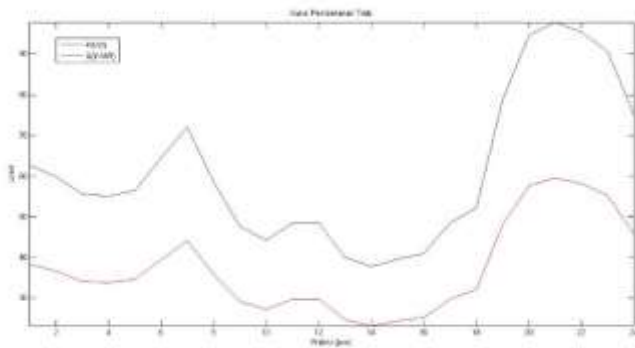
3. Kurva Pembebanan Trafo PB493



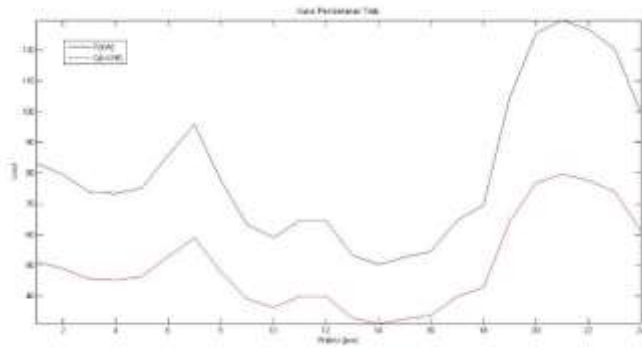
4. Kurva Pembebanan Trafo PB447



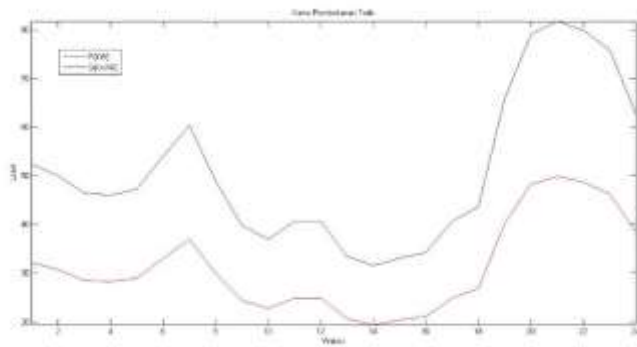
5. Kurva Pembebanan Trafo PB836



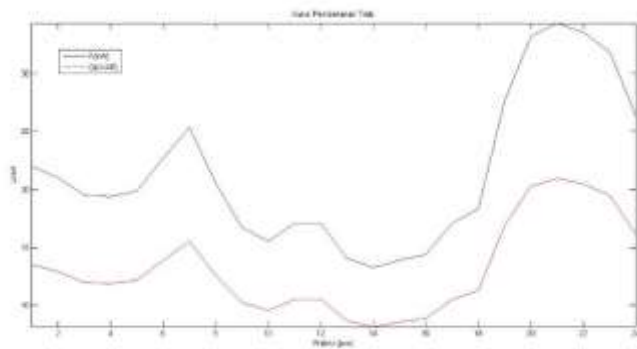
6. Kurva Pembebanan Trafo PB421



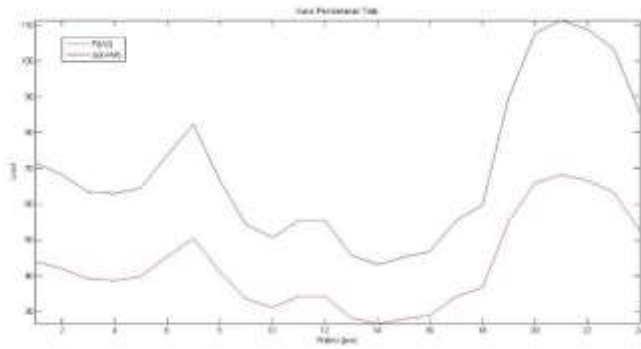
7. Kurva Pembebanan Trafo PB135



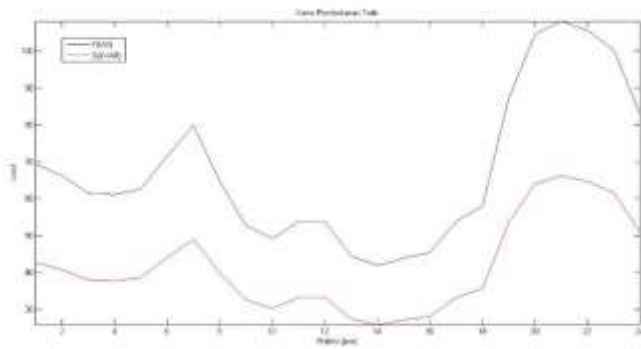
8. Kurva Pembebanan Trafo PB149



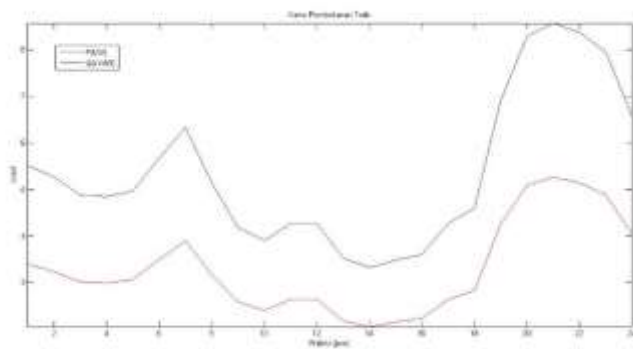
9. Kurva Pembebanan Trafo PB332



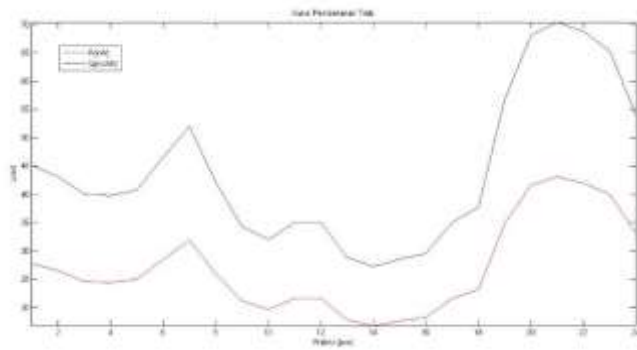
10. Kurva Pembebanan Trafo PB837



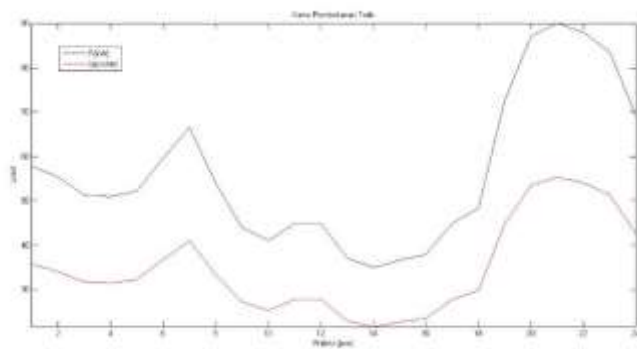
11. Kurva Pembebanan Trafo PB136



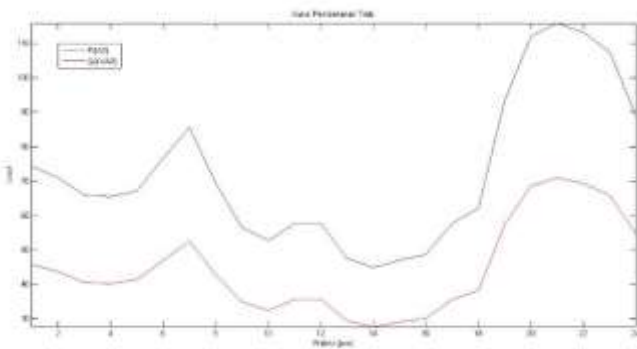
12. Kurva Pembebanan Trafo PB838



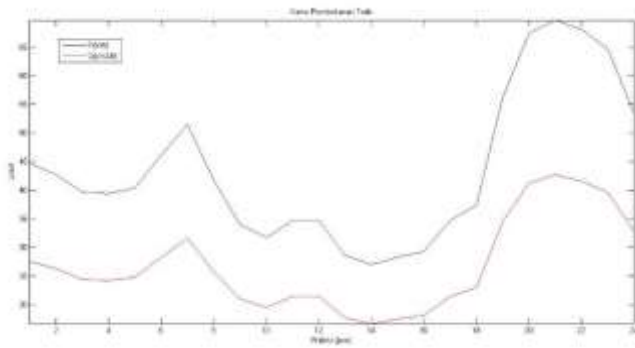
13. Kurva Pembebanan Trafo PB137



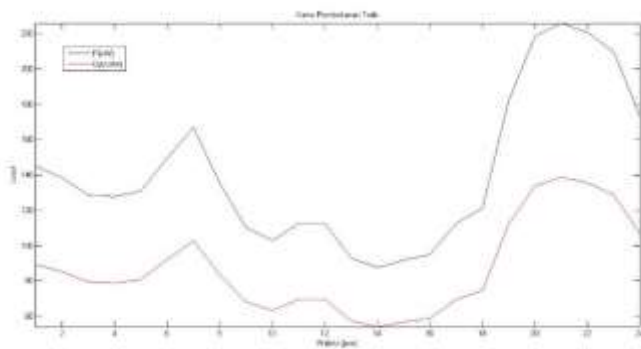
14. Kurva Pembebanan Trafo PB532



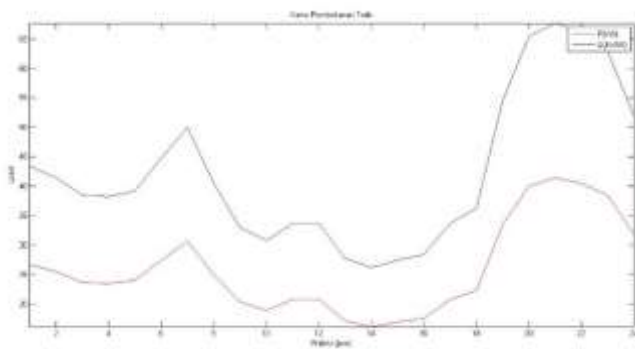
15. Kurva Pembebanan Trafo PB394



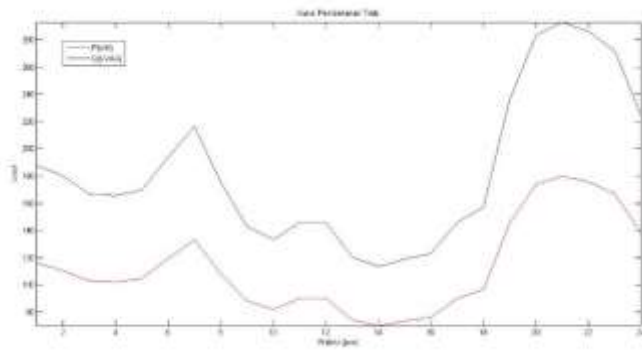
16. Kurva Pembebanan Trafo PB333



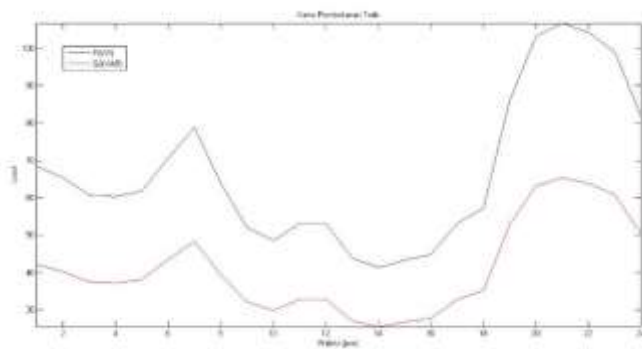
17. Kurva Pembebanan Trafo PB139



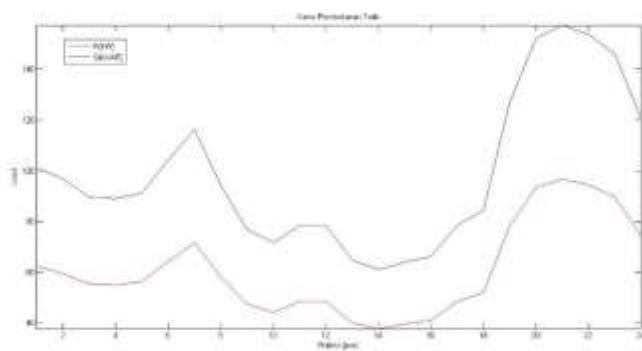
18. Kurva Pembebanan Trafo PB138



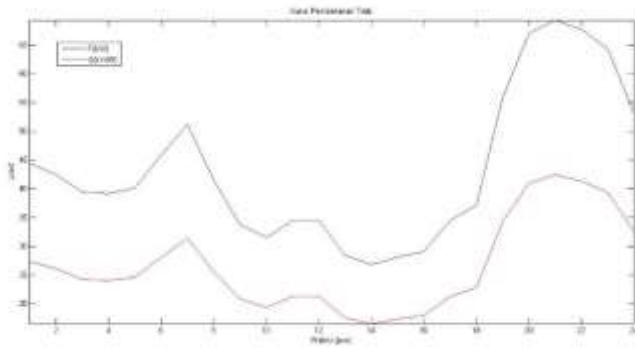
19. Kurva Pembebanan Trafo PB185



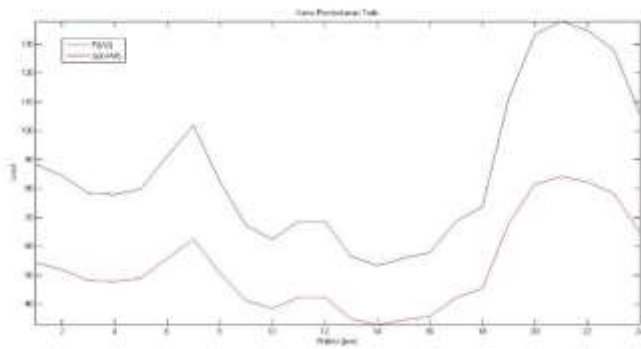
20. Kurva Pembebanan Trafo PB831



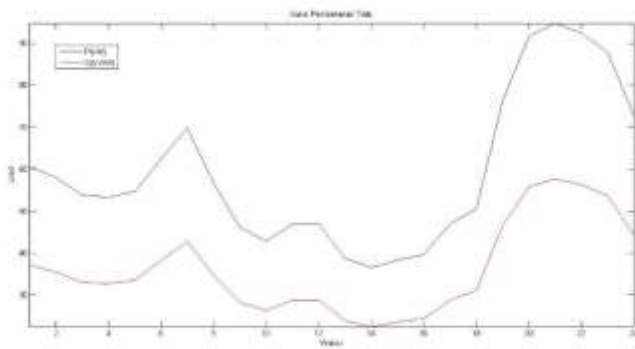
21. Kurva Pembebanan Trafo PB250



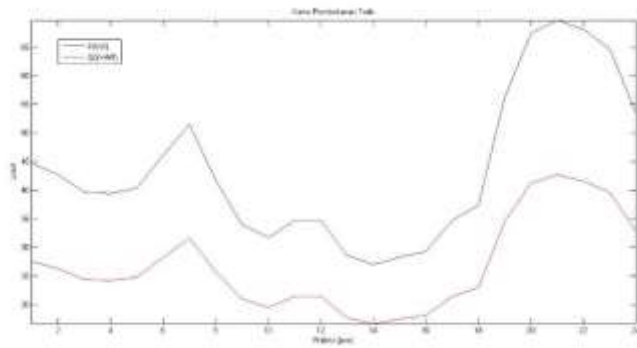
22. Kurva Pembebanan Trafo PB494



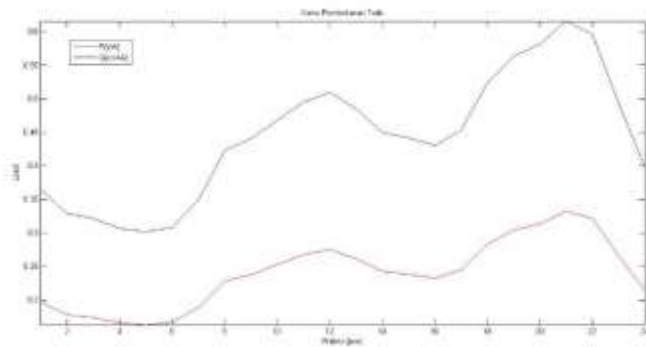
23. Kurva Pembebanan Trafo PB140



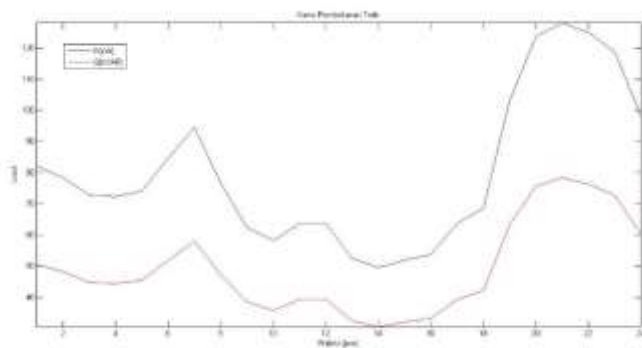
24. Kurva Pembebanan Trafo PB284



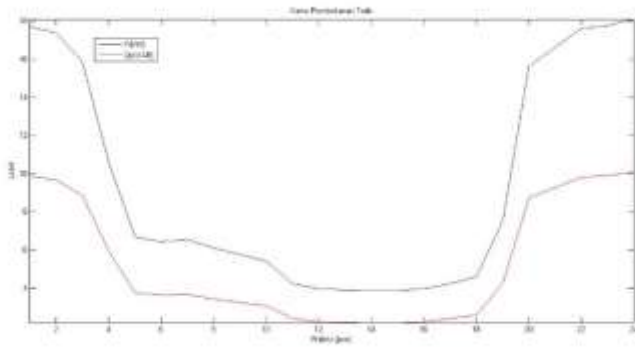
25. Kurva Pembebanan Trafo PB285



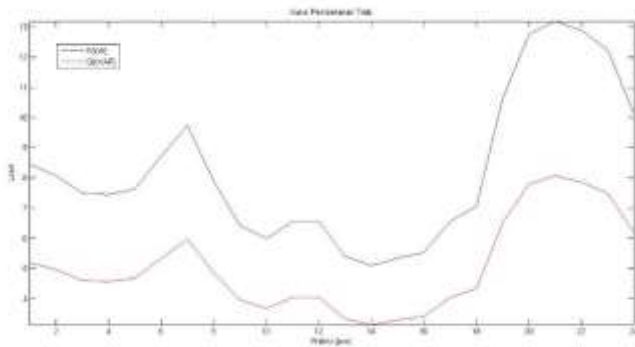
26. Kurva Pembebanan Trafo PB498



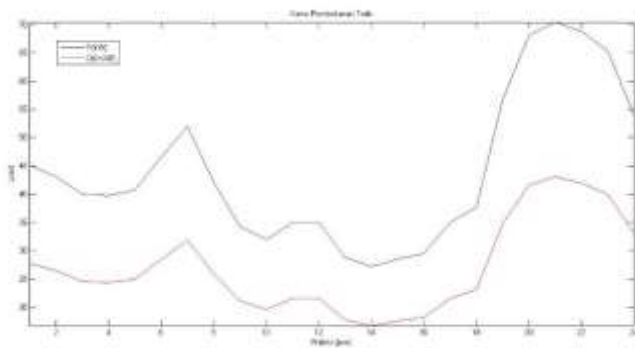
27. Kurva Pembebanan Trafo PB839



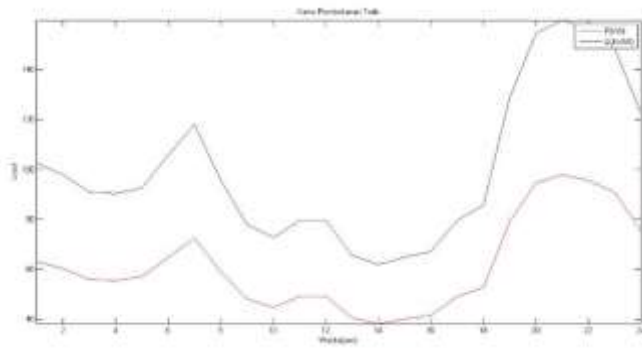
28. Kurva Pembebanan Trafo PB142



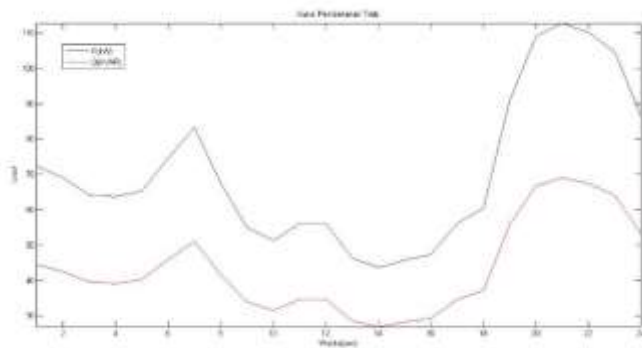
29. Kurva Pembebanan Trafo PB495



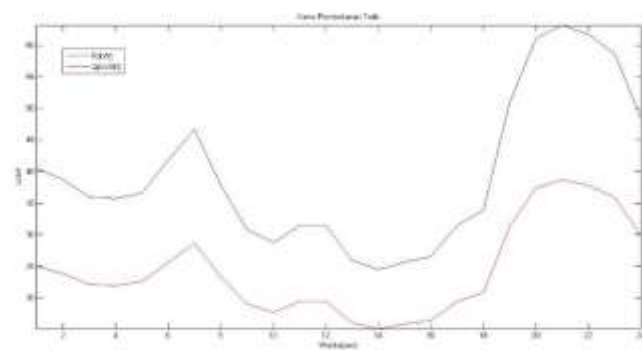
30. Kurva Pembebanan Trafo PB840



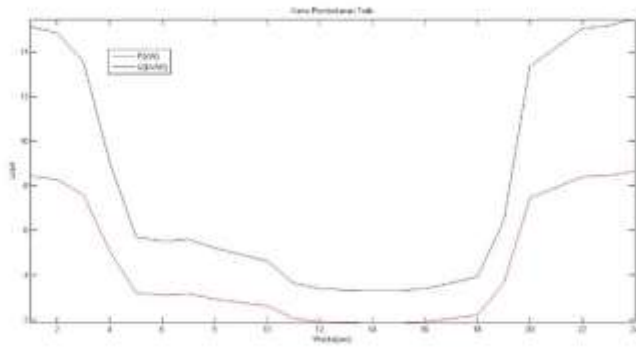
31. Kurva Pembebanan Trafo PB841



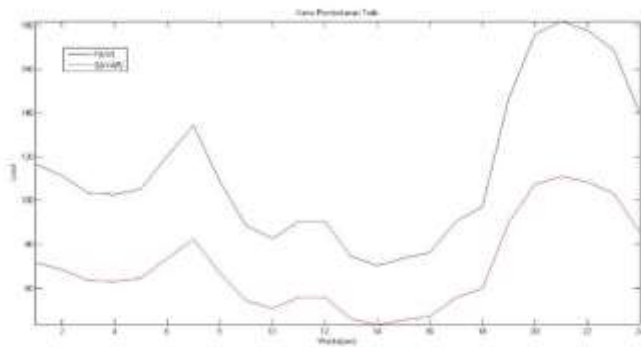
32. Kurva Pembebanan Trafo PB141



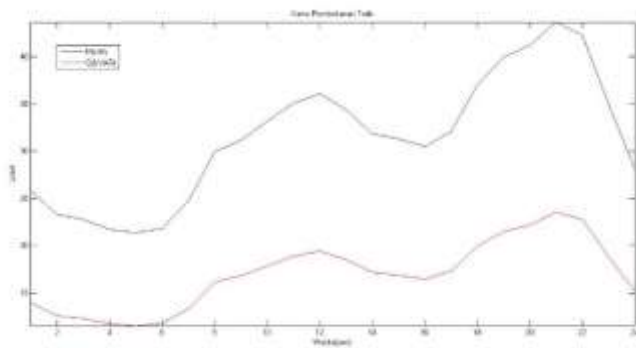
33. Kurva Pembebanan Trafo PB496



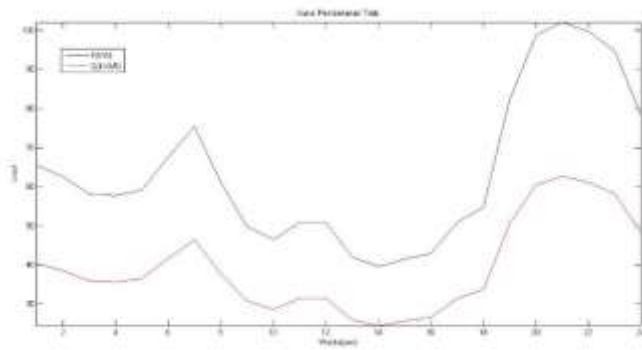
34. Kurva Pembebanan Trafo PB497



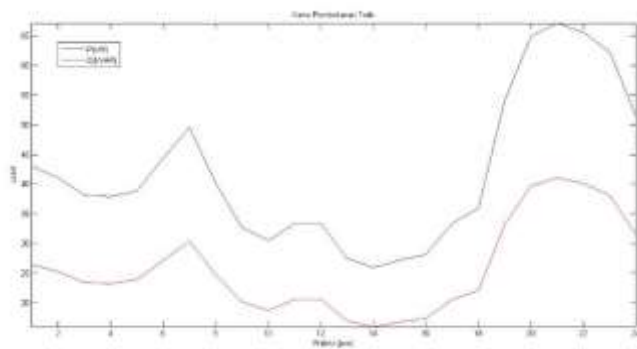
35. Kurva Pembebanan Trafo PB143



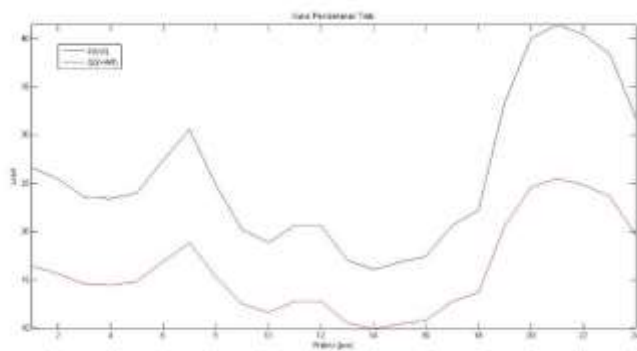
36. Kurva Pembebanan Trafo PB412



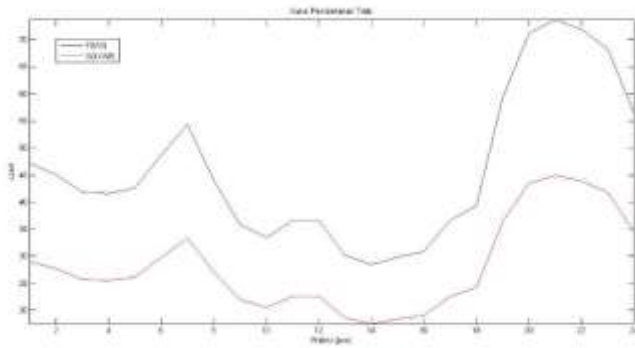
37. Kurva Pembebanan Trafo PB518



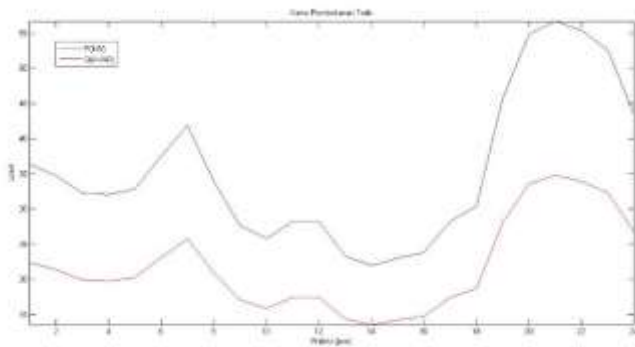
38. Kurva Pembebanan Trafo PB339



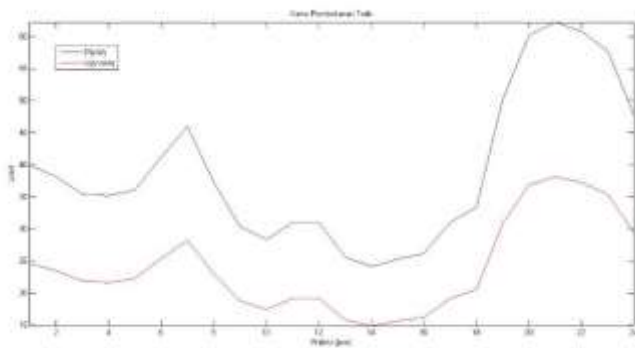
39. Kurva Pembebanan Trafo PB144



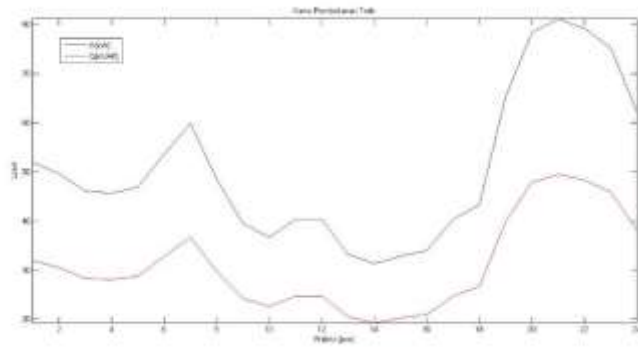
40. Kurva Pembebanan Trafo PB499



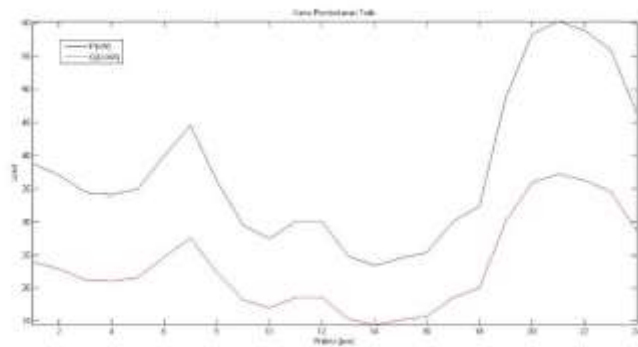
41. Kurva Pembebanan Trafo PB533



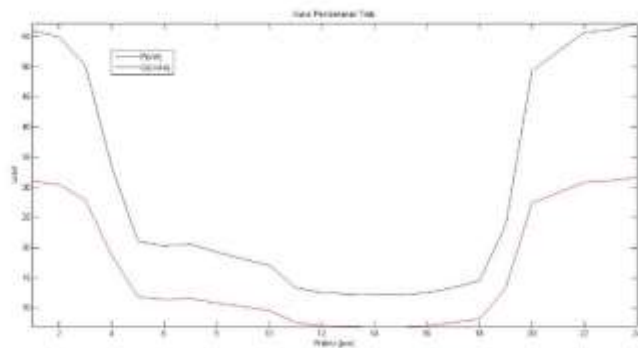
42. Kurva Pembebanan Trafo PB437



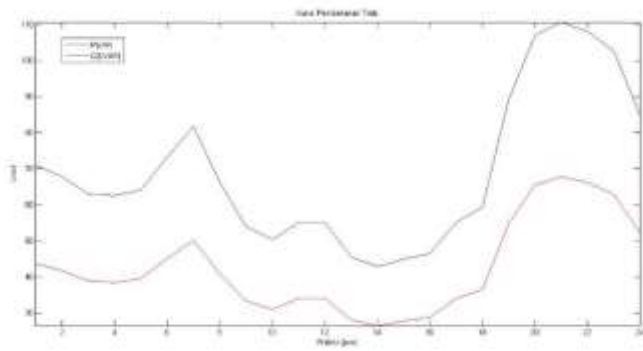
43. Kurva Pembebanan Trafo PB207



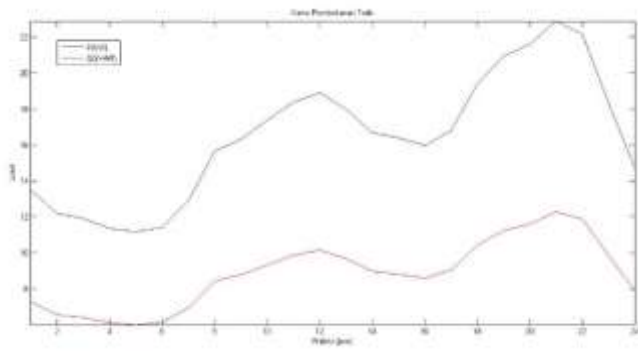
44. Kurva Pembebanan Trafo PB459



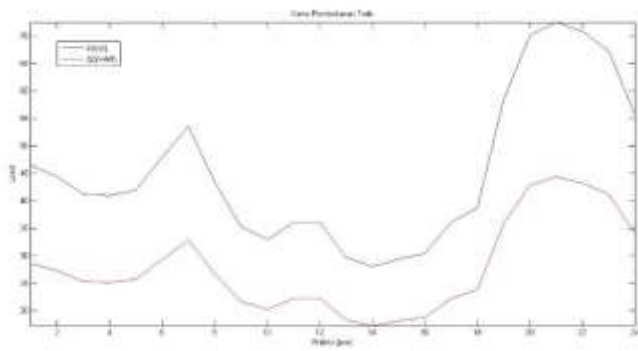
45. Kurva Pembebanan Trafo PB335



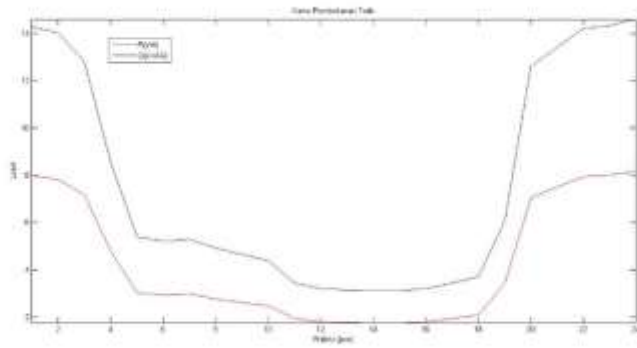
46. Kurva Pembebanan Trafo PB206



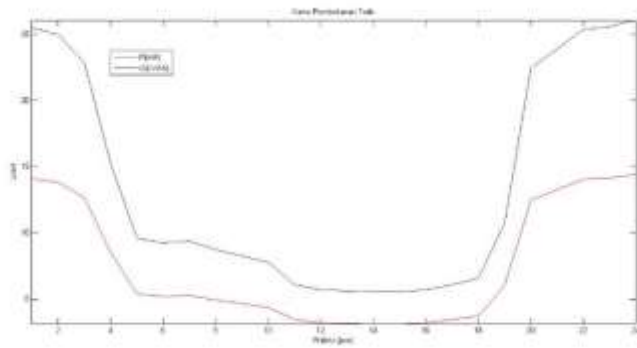
47. Kurva Pembebanan Trafo PB460



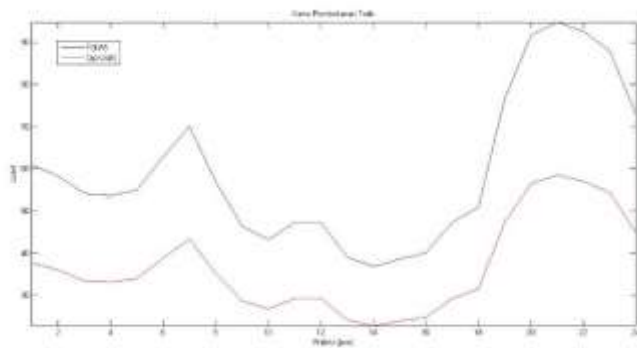
48. Kurva Pembebanan Trafo PB259



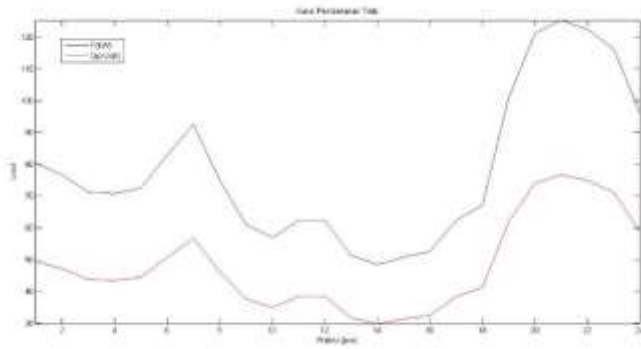
49. Kurva Pembebanan Trafo PB349



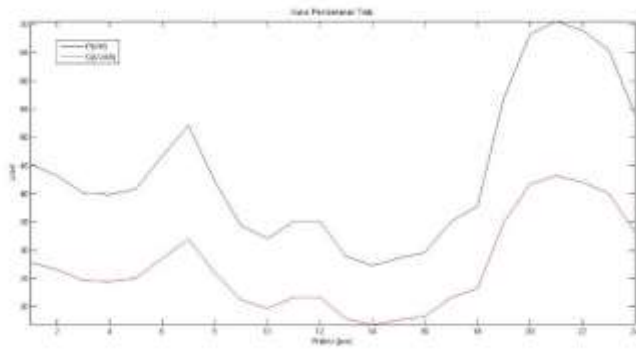
50. Kurva Pembebanan Trafo PB843



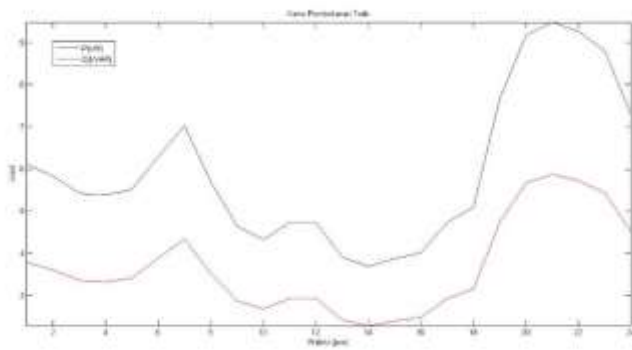
51. Kurva Pembebanan Trafo PB205



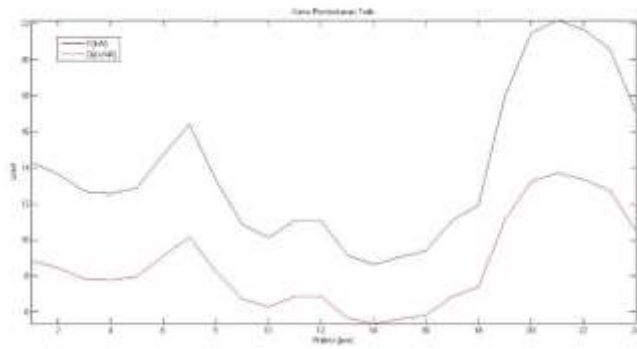
52. Kurva Pembebanan Trafo PB844



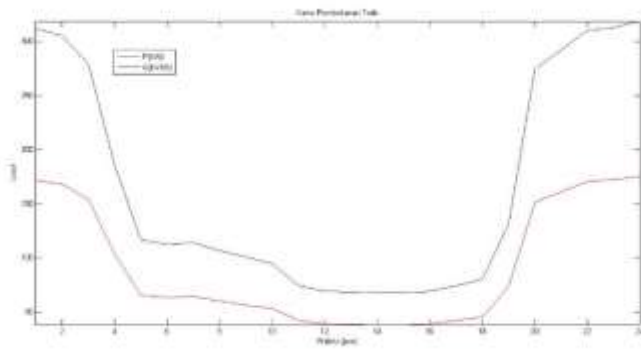
53. Kurva Pembebanan Trafo PB845



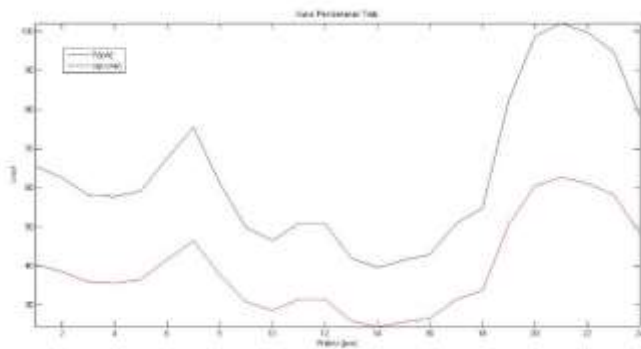
54. Kurva Pembebanan Trafo PB433



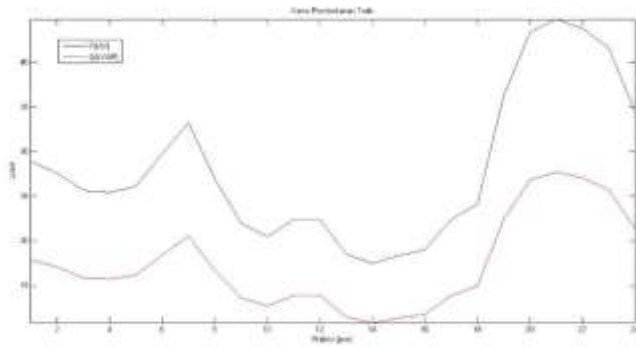
55. Kurva Pembebanan Trafo PB204



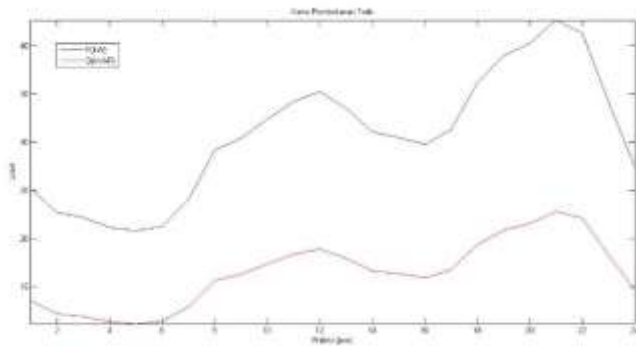
56. Kurva Pembebanan Trafo PB203



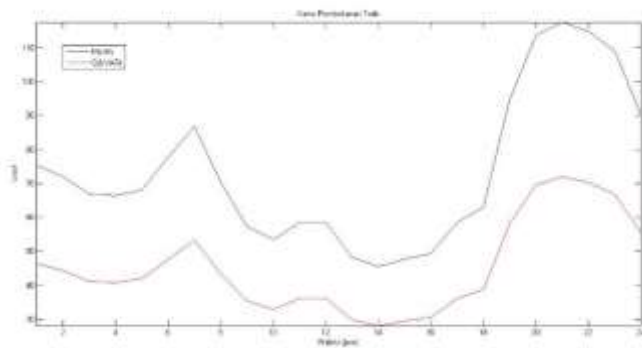
57. Kurva Pembebanan Trafo PB500



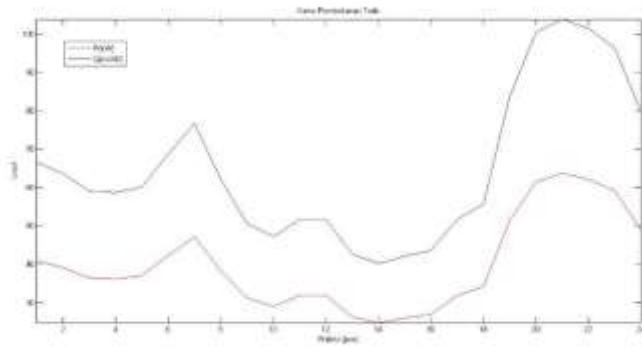
58. Kurva Pembebanan Trafo PB507



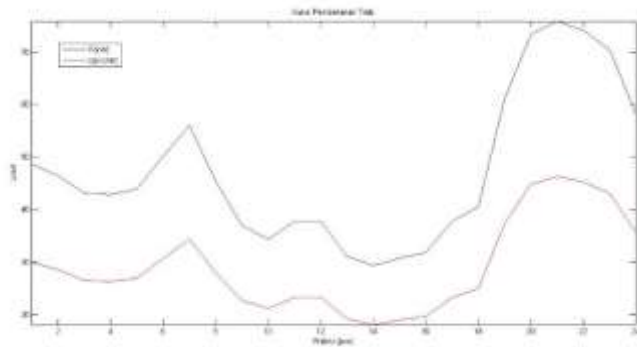
59. Kurva Pembebanan Trafo PB260



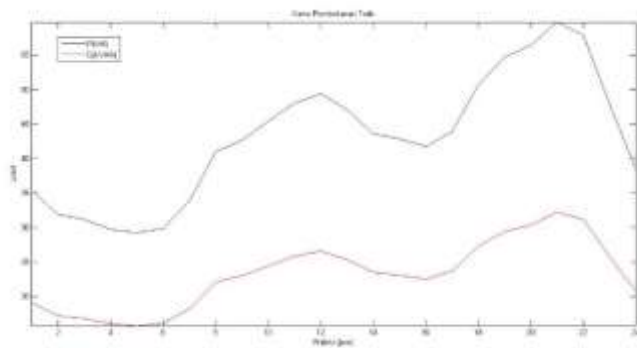
60. Kurva Pembebanan Trafo PB535



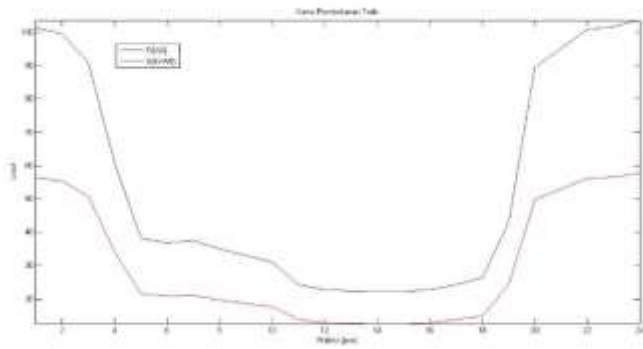
61. Kurva Pembebanan Trafo PB187



62. Kurva Pembebanan Trafo PB847



63. Kurva Pembebanan Trafo PB846



LAMPIRAN B

Data Saluran Penyulang NR 7 84 Bus

Saluran		Impedansi	
Bus	Bus	R (Ohm)	X (Ohm)
1	2	0.1296	0.1983
2	3	0.0054	0.0082625
3	4	0.0108	0.016525
4	5	0.0108	0.016525
5	6	0.0108	0.016525
6	7	0.0108	0.016525
7	8	0.0108	0.016525
8	9	0.0216	0.03305
9	10	0.0108	0.016525
10	11	0.0108	0.016525
11	12	0.0108	0.016525
12	13	0.0054	0.0082625
13	14	0.0054	0.0082625
14	15	0.0108	0.016525
15	16	0.0108	0.016525
16	17	0.0216	0.03305
17	18	0.0108	0.016525
18	19	0.0216	0.03305
19	20	0.0108	0.016525
20	21	0.0108	0.016525
21	22	0.0054	0.0082625

Lanjutan Data Saluran Penyulang NR 7 84 Bus

Saluran		Impedansi	
Bus	Bus	R (Ohm)	X (Ohm)
22	23	0.0216	0.03305
23	24	0.0108	0.016525
24	25	0.0216	0.03305
25	26	0.013608	0.0208215
26	27	0.0054	0.0082625
27	28	0.0054	0.0082625
28	29	0.0216	0.03305
29	30	0.0108	0.016525
30	31	0.0108	0.016525
31	32	0.0216	0.03305
32	33	0.0108	0.016525
33	34	0.0108	0.016525
34	35	0.0108	0.016525
35	36	0.0054	0.0082625
36	37	0.0054	0.0082625
37	38	0.0108	0.016525
38	39	0.0108	0.016525
39	40	0.0108	0.016525
40	41	0.0054	0.0082625
41	42	0.0108	0.016525
42	43	0.0108	0.016525
43	44	0.0054	0.0082625
44	45	0.0108	0.016525

Lanjutan Data Saluran Penyulang NR 7 84 Bus

Saluran		Impedansi	
Bus	Bus	R (Ohm)	X (Ohm)
45	46	0.0108	0.016525
46	47	0.0108	0.016525
47	48	0.0054	0.0082625
48	49	0.0108	0.016525
49	50	0.0108	0.016525
50	51	0.0216	0.03305
51	52	0.0108	0.016525
52	53	0.0108	0.016525
5	54	0.0108	0.016525
9	55	0.0108	0.016525
11	56	0.0108	0.016525
17	57	0.0108	0.016525
57	58	0.0108	0.016525
23	59	0.0108	0.016525
25	60	0.0108	0.016525
30	61	0.0108	0.016525
32	62	0.0216	0.03305
4	63	0.0216	0.03305
63	64	0.0108	0.016525
10	65	0.02808	0.042965
65	66	0.0216	0.03305
19	67	0.0054	0.0082625
27	68	0.0054	0.0082625

Lanjutan Data Saluran Penyulang NR 7 84 Bus

Saluran		Impedansi	
Bus	Bus	R (Ohm)	X (Ohm)
68	69	0.0108	0.016525
69	70	0.0108	0.016525
70	71	0.0054	0.0082625
71	72	0.0108	0.016525
29	73	0.0216	0.03305
73	74	0.0054	0.0082625
74	75	0.0054	0.0082625
33	76	0.0054	0.0082625
37	77	0.0216	0.03305
41	78	0.0216	0.03305
46	79	0.0216	0.03305
79	80	0.0108	0.016525
80	81	0.0108	0.016525
51	82	0.0108	0.016525
52	83	0.0054	0.0082625
53	84	0.0054	0.0082625

RIWAYAT HIDUP



Penulis memiliki nama lengkap Saifi Sabiq. Lahir di Surabaya pada tanggal 28 Oktober 1994. Penulis menempuh sekolah dasar di SDN Wonokromo 1 Surabaya pada tahun 2001-2006. Kemudian melanjutkan ke jenjang sekolah menengah pada di SMPN 12 Surabaya pada tahun 2007-2009. Setelah itu penulis menempuh Pendidikan di SMAN 15 Surabaya selama 3 tahun yaitu 2010-2013. Pada tahun 2013 penulis masuk perguruan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan mengambil jurusan Teknik Elektro .Semasa kuliah penulis aktif dalam kegiatan keagamaan non formal di Surabaya. Penulis merupakan salah satu member di Laboratorium Simulasi Sistem Tenaga (B.103) ITS. Penulis dapat dihubungi melalui alamat email : saisfisabiq@gmail.com.

--- *Halaman ini sengaja di kosongkan* --